



TUGAS AKHIR - TL141584

PENGARUH pH, KECEPATAN PUTAR DAN KONSENTRASI INHIBITOR BERBASIS IMIDAZOLINE TERHADAP LAJU KOROSI BAJA AISI 1045 DI LINGKUNGAN YANG MENGANDUNG GAS CO₂

Dendra Ravelia

NRP. 2713100148

Dosen Pembimbing

Budi Agung Kurniawan, ST., M.Sc.

Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc.

Jurusan Teknik Material Dan Metalurgi

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh November

Surabaya 2017



TUGAS AKHIR - TL141584

PENGARUH pH, KECEPATAN PUTAR DAN KONSENTRASI INHIBITOR BERBASIS IMIDAZOLINE TERHADAP LAJU KOROSI BAJA AISI 1045 DI LINGKUNGAN YANG MENGANDUNG GAS CO₂

Dendra Ravelia

NRP. 2713100148

Dosen Pembimbing

Budi Agung Kurniawan, ST., M.Sc.

Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc.

Jurusan Teknik Material Dan Metalurgi

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh November

Surabaya 2017

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT - TL141584

THE EFFECT OF pH, ROTATION SPEED AND CONCENTRATION OF IMIDAZOLINE BASED CORROSION INHIBITOR ON CORROSION RATE OF AISI 1045 STEEL IN ENVIRONMENT WHICH CONTAIN CO₂ GAS

Dendra Ravelia

NRP. 2713100148

Advisor

Budi Agung Kurniawan, ST., M.Sc.

Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc.

Departement of Material and Metallurgical Engineering
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2017

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**PENGARUH pH, KECEPATAN PUTAR DAN
KONSENTRASI INHIBITOR BERBASIS IMIDAZOLINE
TERHADAP LAJU KOROSI BAJA AISI 1045 DI
LINGKUNGAN YANG MENGANDUNG GAS CO₂**

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat Untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Material dan Metalurgi
Pada

Bidang Studi Korosi dan Analisa Kegagalan
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

Dendra Ravelia
NRP. 2713100148

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir

Budi Agung Kurniawan, ST, M. Sc. (Pembimbing 1)

Wikan Jatimurti, M. Sc. (Pembimbing II)



Januari 2017

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

PENGARUH pH, KONSENTRASI, DAN KECEPATAN PUTAR TERHADAP KINERJA INHIBITOR KOROSI BERBASIS IMIDAZOLINE PADA BAJA AISI 1045 DI LINGKUNGAN YANG MENGANDUNG GAS CO₂

Nama Mahasiswa : Dendra Ravelia
NRP : 2713100148
Jurusan : Teknik Material dan Metalurgi
Dosen Pembimbing : Budi Agung Kurniawan, S.T.,M.Sc
Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc

Abstrak

Korosi adalah kejadian alamiah yang terjadi pada logam, khususnya baja karbon yang banyak digunakan sebagai pipa penyalur minyak dan gas bumi. Pipa penyalur adalah komponen yang sering terjadi serangan korosi yang disebabkan oleh media korosif seperti adanya gas CO₂ dan H₂S. Kemudian pengaruh laju alir dan pH elektrolit, akan meningkatkan laju korosi yang terjadi pada pipa penyalur. Gas CO₂ menyebabkan korosi pada material pipa apabila berinteraksi dengan fase liquid maupun air yang terkandung pada minyak dan gas alam. Sehingga, dengan larutnya gas CO₂ tersebut, menyebabkan lingkungan menjadi korosif atau disebut *sweet environtment*. Untuk mengurangi dampak korosi yang terjadi, diberikan inhibitor korosi secara berkala pada pipa penyalur. Inhibitor korosi komersial berbasis *imidazoline* banyak digunakan oleh perusahaan minyak dan gas bumi untuk mengurangi dampak korosi internal khususnya pada pipa penyalur. Inhibitor korosi berbasis *imidazoline* adalah inhibitor korosi korosi campuran yang mempengaruhi reaksi anodik dan katodik dengan proses adsorpsi pada permukaan logam membentuk lapisan pasif. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan menganalisa pengaruh pH, kecepatan putar dan konsentrasi inhibitor *imidazoline* terhadap laju korosi baja AISI 1045 dan menganalisa mekanisme inhibisinya di lingkungan yang mengandung gas CO₂. Kecepatan putar yang digunakan adalah

150 RPM dan 250 RPM, konsentrasi inhibitor yang digunakan adalah 0 ppm, 50 ppm, 100 ppm dan 200 ppm. Kemudian pH yang digunakan adalah pH 5 dan pH 7 pada larutan NaCl 3,5 % dan diberikan gas CO₂. Pengujian yang dilakukan pada sampel uji yaitu *weight loss*, Polarisasi, XRD, FTIR dan EIS. Dari hasil pengujian *weight loss*, didapatkan nilai efisiensi inhibitor tertinggi adalah pada sampel 200 ppm, 250 RPM, pH 5 sebesar 82,59 %. Sedangkan pada pH 7 nilai efisiensi tertinggi adalah sampel 100 ppm, 150 RPM sebesar 92,69 %. Pengujian FTIR menunjukkan adanya gugus fungsi pada inhibitor yang menempel pada permukaan logam setelah direndam selama sepuluh hari. Hasil pengujian EIS menunjukkan bahwa dengan adanya penambahan konsentrasi inhibitor, meningkatkan nilai tahanan polarisasi pada larutan dan nilai CPE menurun. Pengujian XRD menunjukkan adanya senyawa *iron nitride* yang terbentuk karena reaksi yang terjadi antara Fe dan atom nitrogen pada *pyridine*.

Kata Kunci : Korosi, Gas CO₂, pH, Inhibitor Imidazoline, Kecepatan Putar

THE EFFECT OF pH, ROTATION SPEED AND CONCENTRATION OF IMIDAZOLINE BASED CORROSION INHIBITOR ON CORROSION RATE OF AISI 1045 STEEL IN ENVIRONMENT WHICH CONTAIN CO₂ GAS

Student Name : Dendra Ravelia
NRP : 2713100148
Department : Material and Metalurgical Engineering
Advisor : Budi Agung Kurniawan, S.T.,M.Sc
Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc

Abstract

Corrosion is a natural phenomenon that happens to metals, particularly carbon steels are widely used as pipelines for oil and gas industry. The pipeline is the component which attacked by corrosive media for example CO₂ and H₂S gas. Then the effect of pH and electrolyte flow rate, will increase the rate of corrosion that occurs in the pipeline. CO₂ gas can cause corrosion on the pipe material when interacting with a liquid phase and the water contained in oil and natural gas. The dissolution of the CO₂ gas can cause the environment becomes corrosive or called sweet environment. To reduce the impact of the corrosion in pipeline, corrosion inhibitor given periodically on pipelines. Commercial based corrosion inhibitor *imidazoline* widely used by oil and gas companies to reduce the impact of internal corrosion. *Imidazoline* based corrosion inhibitor is a mixture of corrosion inhibitor that affects the anodic and cathodic reactions by adsorption on the surface of the metal to form the passive layer. The purpose of this study is to analyze the effect of pH, rotation speed and concentration of *imidazoline* based corrosion inhibitor on corrosion rate of AISI 1045 steel and inhibition mechanism in environment which contain CO₂ gas. Rotational speed which used was 150 RPM and 250 RPM, the concentration of inhibitor which used is 0 ppm, 50 ppm, 100 ppm and 200 ppm. Then the

pH used is pH 5 and pH 7 in NaCl 3.5% and given the CO₂ gas. The test which given to the samples is weight loss, polarisation (tafel), XRD, FTIR and EIS. Based on weight loss testing, the highest value of inhibitor efficiency is the sample of 200 ppm, 250 RPM, pH 5 at 82.59%. Whereas at pH 7 the highest efficiency value is a sample of 100 ppm, 150 RPM at 92.69%. FTIR testing showed the functional groups on the inhibitor attached to the metal surface after being soaked for ten days. The EIS testing showed that the addition of the inhibitor concentration, can increase the value of polarization resistance to the solution and the value of CPE declined. XRD testing showed iron nitride compound formed by the reaction that occurs between Fe and the pyridine nitrogen atom.

Keywords : Corrosion, CO₂ Gas, pH, Imidazoline Based Corrosion Inhibitor, Rotation Speed

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr.Wb.

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan nikmat, anugerah, serta karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir pada jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS yang berjudul:

“PENGARUH pH, KECEPATAN PUTAR DAN KONSENTRASI INHIBITOR BERBASIS IMIDAZOLINE TERHADAP LAJU KOROSI BAJA AISI 1045 DI LINGKUNGAN YANG MENGANDUNG GAS CO₂”

Tugas Akhir ini disusun untuk melengkapi sebagian syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS. Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, Tugas Akhir ini tidak dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberi dukungan, bimbingan, dan kesempatan kepada penulis hingga tugas akhir ini dapat diselesaikan.

1. Allah SWT karena dengan rahmat dan kuasa-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini dengan baik dan tepat waktu.
2. Orang tua penulis, Bapak Ir. Trinanto AM, M.Si dan Ibu Dra. Rini Damayanti yang selalu mendukung penulis, berupa moral dan material.
3. Bapak Budi Agung Kurniawan, ST., M.Sc. selaku dosen pembimbing tugas akhir dan dosen wali penulis yang telah memberikan ilmu, bimbingan dan arahan kepada penulis.

4. Bapak Wikan Jatimurti, ST. M.Sc. selaku dosen co-pembimbing tugas akhir penulis yang telah memberikan arahan saat menulis Tugas akhir ini.
5. Bapak Dr. Agung Purniawan, ST., M.Eng. selaku Ketua Jurusan pada Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
6. Saudara Nafi'ul Fikri Ahmadi sebagai rekan kerja penulis dalam menyelesaikan tugas akhir
7. Mas Sofyan Simatupang, Mas Hardy dan Mas Fadhli dari EON Chemical yang telah membantu penulis dalam pengadaan inhibitor korosi *imidazoline*
8. Dosen dan karyawan yang telah membantu penulis untuk menyelesaikan perkuliahan di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
9. Teman-teman angkatan 2013 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
10. Dan seluruh pihak yang telah memberikan partisipasi atas penulisan tugas akhir ini.

Penulis berharap Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi seluruh pihak yang membaca. Penulis juga menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan Tugas Akhir ini, sehingga penulis sangat menerima kritik dan saran dari para pembaca yang dapat membangun demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Surabaya, Januari 2017

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
ABSTRAKiii
ABSTRACTv
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABELxv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Pengertian Korosi	5
2.2 Jenis – jenis Korosi.....	6
2.3 Pengukuran Laju Korosi.....	7
2.3.1 Metode Kehilangan Berat.....	7
2.3.2 Metode Polarisasi	8
2.4 Pengujian EIS.....	11
2.5 Pengaruh Konsentrasi NaCl Pada Laju Korosi	12
2.6 Korosi yang Disebabkan Oleh Gas CO ₂	12
2.7 Faktor yang Mempengaruhi Laju Korosi CO ₂	14
2.8 Perlindungan Terhadap Korosi.....	19
2.9 Inhibitor Korosi	20
2.10 Inhibitor Korosi Berbasis <i>Imidazoline</i>	26
2.11 Penelitian Sebelumnya	31
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Diagram Alir Percobaan	36
3.2 Metode Perancangan	36

3.3 Alat dan Bahan Percobaan	37
3.3.1 Alat Pecobaan.....	37
3.3.1 Bahan Pecobaan	38
3.4 Prosedur Penelitian.....	38
3.4.1 Preparasi Spesimen Uji	38
3.4.2 Preparasi Alat	39
3.4.3 Larutan NaCl 3,5 %	41
3.4.4 Penambahan Inhibitor Korosi Imidazoline...	42
3.5 Pengujian Pada Percobaan.....	43
3.5.1 Metode Weight Loss	43
3.3.2 Pengujian EIS	46
3.3.3 Pengujian polarisasi (Tafel).....	47
3.3.4 Pengujian FTIR	50
3.3.1 Pengujian XRD.....	50
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	
4.1 Analisa Data.....	51
4.1.1 Perhitungan Bilangan Reynold dan Wall Shear Stress	51
4.1.2 Pengujian Weight Loss.....	52
4.1.3 Pengujian FTIR	56
4.1.4 Pengujian polarisasi (Tafel).....	60
4.1.5 Pengujian EIS	64
4.1.6 Perhitungan Adsorpsi Isoterm	68
4.1.7 Pengujian XRD.....	69
4.1.8 Hasil Pengamatan Visual.....	70
4.2 Pembahasan.....	72
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan.....	80
5.2 Saran.....	80
DAFTAR PUSTAKA.....	xvii
LAMPIRAN.....	xix
BIOGRAFI PENULIS	xxxviii

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Siklus yang terjadi pada logam.....	5
Gambar 2.2 Contoh Grafik Pengijian Polarisasi	9
Gambar 2.3 Rangkaian Listrik Hasil Kurva Nyquist	10
Gambar 2.4 Aliran Nyquist.....	11
Gambar 2.5 Pengaruh Konsentrasi NaCl terhadap Laju Korosi pada baja karbon dalam larutan teraerasi.....	12
Gambar 2.6 Pengaruh pH Terhadap Laju Korosi	14
Gambar 2.7 Pengaruh Laju Korosi Terhadap Temperatur	17
Gambar 2.8 Klasifikasi Inhibitor.....	21
Gambar 2.9 Physical Adsorption antara anion inhibitor dan muatan positif logam.....	24
Gambar 2.10 Skema Inhibitor <i>Sulfactant</i>	27
Gambar 2.11 Tegangan Permukaan vs Konsentrasi Inhibito.....	28
Gambar 2.12 Struktur Molekul Inhibitor Berbasis Turunan Imidazoline	29
Gambar 2.13 Sturktur Molekul dari (a) <i>Pyridine</i> (b) <i>Pyrrole</i> dan (c) <i>Imidazole</i>	30
Gambar 2.14 Lapisan Tipis Inhibitor Imidazoline pada Permukaan Logam.....	36
Gambar 3.1 Diagram Alir Percobaan.....	36
Gambar 3.2 (a) Proses Pengamplasan Sampel Uji (b) Kondisi Sampel Setelah Pengamplasan.....	38
Gambar 3.3 (a) Proses Penimbangan Berat Awal sampel (b) Pengukuran Dimensi Sampel.....	39
Gambar 3.4 Bentuk Alat <i>Rotating Cylinder Electrode</i> (RCE).....	40
Gambar 3.5 Proses Pengujian Sampel.....	41
Gambar 3.6 Penimbangan Berat Garam NaCl.....	42
Gambar 3.7 (a) Pengujian pH larutan dengan pH meter (b) Inhibitor <i>Imidazoline</i>	43

Gambar 3.8 (a) Alat Uji Polarisasi dan EIS (b) Rangkaian Uji Polarisasi dan EIS.....	49
---	----

Gambar 4.1 Pengaruh Konsentrasi Inhibitor dan Kecepatan Putar terhadap laju korosi baja AISI 1045 pada pH 5.....	50
---	----

Gambar 4.2 Pengaruh Konsentrasi dan Kecepatan Putar terhadap efisiensi inhibitor korosi pada pH 5.....	53
---	----

Gambar 4.3 Pengaruh Konsentrasi Inhibitor dan Kecepatan Putar terhadap laju korosi baja AISI 1045 pada pH 7.....	53
---	----

Gambar 4.4 Pengaruh Konsentrasi dan Kecepatan Putar terhadap efisiensi inhibitor korosi pada pH 7.....	54
---	----

Gambar 4.5 Pengaruh pH terhadap laju korosi baja AISI 1045 dengan kecepatan putar 150 RPM dan berbagai konsentrasi inhibitor.....	55
--	----

Gambar 4.6 Pengaruh pH terhadap laju korosi baja AISI 1045 dengan kecepatan putar 250 RPM dan berbagai konsentrasi inhibitor.....	56
--	----

Gambar 4.7 Hasil FTIR pada Inhibitor <i>Imidazoline</i>	57
--	----

Gambar 4.8 Hasil Pengujian FTIR pada sampel baja AISI 1045 yang telah direndam selama sepuluh hari dengan konsentrasi inhibitor 200 ppm, kecepatan putar 150 RPM dan pH 7.....	58
---	----

Gambar 4.9 Perbandingan Hasil FTIR Bahan Inhibitor dan Sampel Baja AISI 1045	59
---	----

Gambar 4.10 Perbandingan Hasil Pengujian Polarisasi Pada Sampel dengan pH 5.....	61
---	----

Gambar 4.11 Perbandingan Hasil Pengujian Polarisasi Pada Sampel dengan pH 7.....	62
---	----

Gambar 4.12 Perbandingan Hasil Pengujian dengan menggunakan metode Polarisasi dan Weight loss Pada Sampel dengan perbedaan konsentrasi inhibitor pada pH 5.....	63
--	----

Gambar 4.13 Perbandingan Hasil Pengujian dengan menggunakan metode Polarisasi dan Weight loss Pada Sampel dengan perbedaan	
---	--

konsentrasi	inhibitor	pada	pH	
7				63
Gambar 4.14	Kurva Nyquist dan fitting pada sampel pH 5, kecepatan putar 250 RPM dengan konsentrasi inhibitor 0 ppm dan 200 ppm			64
Gambar 4.15	Hasil Fitting Kurva Nyquist pada pH 5, 250 RPM dan konsentrasi (a) 0 ppm dan (b) 200 ppm			65
Gambar 4.16	Kurva Nyquist dan fitting pada sampel pH 7, kecepatan putar 150 RPM dengan konsentrasi inhibitor 0 dan 200 ppm			66
Gambar 4.17	Hasil Fitting Kurva Nyquist pada pH 7, kecepatan putar 150 RPM dan konsentrasi (a) 0 ppm dan (b) 200 ppm			67
Gambar 4.18	Hasil Pengujian XRD			70
Gambar 4.19	Pengamatan Visual pada Sampel baja AISI 1045 dengan Perlakuan (a) Sebelum dilakukan pencelupan (b) Pencelupan dengan pH 5 0 ppm 250 RPM dan (c) Pencelupan dengan pH 5 200 ppm 250 RPM			70
Gambar 4.20	Pengamatan Visual pada Sampel baja AISI 1045 dengan Perlakuan (a) Sebelum dilakukan pencelupan (b) Pencelupan dengan pH 7 0 ppm 150 RPM dan (c) Pencelupan dengan pH 7 200 ppm 150 RPM			71

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Derajat Laju Korosi	7
Tabel 2.2 Data Perhitungan Bilangan Reynold dengan Menggunakan RCE	19
Tabel 3.1 Komposisi Kimia Baja AISI 1045	41
Tabel 3.2 Rancangan Data Hasil Uji Weight Loss.....	42
Tabel 3.3 Rancangan Data Hasil Uji EIS	47
Tabel 3.3 Rancangan Data Hasil Uji Polarisasi Linear	48
Tabel 3.4 Parameter Pengujian Tafel.....	49
Tabel 4.1 Bilangan Reynold dan Wall Shear Stress Pada Setiap Kecepatan Putar.....	51
Tabel 4.2 Hasil Analisa FTIR Inhibitor <i>Imidazoline</i>	57
Tabel 4.3 Hasil Analisa Pengujian FTIR pada sampel Baja AISI 1045.....	59
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Polarisasi.....	60
Tabel 4.5 Data <i>equivalent circuit</i> pada sampel pH 5.....	65
Tabel 4.6 Data <i>equivalent circuit</i> pada sampel pH 7.....	67
Tabel 4.7 Energi Bebas Adsorpsi Pada Inhibitor Imidazoline.....	68

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Korosi adalah suatu penurunan kualitas dari material karena bereaksi dengan lingkungannya. Lingkungan yang menyebabkan terjadinya korosi pada industri minyak dan gas bumi contohnya adalah *sodium chloride*, sulfur, asam sulfat dan air. Tekanan dan temperatur juga mempengaruhi cepat atau tidaknya korosi terjadi. Hal ini menjadi perhatian serius karena dampak yang ditimbulkan akan sangat merugikan. Terjadinya korosi akan meningkatkan biaya operasi dan perawatan, operasi pabrik akan dihentikan dan akan mencemari produk pada industri makanan dan minuman. (Fontana, 1987). Korosi pada dunia minyak dan gas bumi, biasa terjadi pada peralatan produksi. Salah satunya adalah pada bagian sistem perpipaan yang berfungsi sebagai penyalur minyak dan gas bumi hasil produksi.

Pada lingkungan eksplorasi minyak dan gas bumi, banyak dipengaruhi oleh fluida yang korosif, seperti CO_2 dan H_2S , dan kecepatan alir yang ada pada pipa penyalur hasil produksi. Gas CO_2 adalah salah satu gas yang terkandung dalam gas alam akan mengakibatkan korosi pada material logam pipa yang digunakan untuk menyalurkan hasil produksi. Gas CO_2 akan menyebabkan korosi pada material pipa apabila berinteraksi dengan fase liquid maupun air yang terkandung pada gas alam tersebut. Sehingga, dengan larutnya CO_2 tersebut, menyebabkan lingkungan menjadi korosif atau disebut *sweet environment*. Produk korosi yang dihasilkan berupa FeCO_3 yang mengendap di permukaan (Octoviawan, 2012).

Inhibitor korosi dapat didefinisikan sebagai suatu zat yang apabila ditambahkan dalam jumlah sedikit kedalam lingkungan akan menurunkan serangan korosi lingkungan terhadap logam. Biasanya proses korosi logam berlangsung secara elektrokimia yang terjadi secara simultan pada daerah

Laporan Tugas Akhir

Jurusan Teknik Material dan Metalurgi



anoda dan katoda. Inhibitor biasanya ditambahkan dalam jumlah sedikit secara periodik maupun pada selang waktu tertentu.

Inhibitor dibedakan menjadi dua jenis, yaitu inhibitor organik dan inhibitor anorganik. Penggunaan dari bahan alam (organik) lebih dipilih karena bersifat aman, mudah didapat, bersifat dapat didaur ulang, murah dan menghasilkan efisiensi yang tinggi dalam mengurangi laju korosi (Paksi, 2013). Inhibitor korosi, telah banyak digunakan secara luas untuk mengurangi korosi yang terjadi pada internal pipa. Efisiensi inhibitor bergantung pada kemampuannya untuk bereaksi dengan elektrolit maupun pembentukan lapisan tipis yang akan melindungi logam dari korosi. (Rihan, 2010).

Inhibitor korosi komersial adalah inhibitor korosi organik yang telah digunakan berbagai macam industri untuk melindungi peralatan produksi dari kerugian yang ditimbulkan karena korosi. Inhibitor korosi komersial terdiri dari salah satu surfaktan, yaitu *fatty acid*, *amines*, *fatty amines* atau *diamines*, *fatty amido-amines* atau *imidazolines* dan *quaternary amines*. Surfaktan ini akan teradsorpsi pada permukaan baja yang akan dilindungi dan membentuk lapisan tipis pada permukaan baja. Sehingga akan menghambat korosi yang akan terjadi. (Durnie, 2001).

Inhibitor korosi berbasis turunan *imidazoline* adalah inhibitor korosi yang bekerja sebagai inhibitor korosi campuran yang mempengaruhi reaksi anodik dan katodik dengan proses adsorpsi pada permukaan logam. (Zhang, Guoan. 2007).

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan diteliti pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh pH, konsentrasi inhibitor dan kecepatan putar terhadap perlindungan korosi pada baja AISI 1045 di lingkungan yang mengandung gas CO₂ ?
2. Bagaimana mekanisme inhibisi inhibitor korosi *imidazoline* yang dipengaruhi oleh pH, konsentrasi



inhibitor dan kecepatan putar pada baja AISI 1045 di lingkungan yang mengandung gas CO₂

1.3 Batasan Masalah

Untuk membatasi ruang lingkup penelitian, ditetapkan batasan-batasan masalah pada penelitian sebagai berikut :

1. Material baja AISI 1045 dianggap homogen dan bebas cacat.
2. Tidak ada perubahan yang terjadi pada temperatur dan volume larutan NaCl 3,5%
3. Tekanan gas CO₂ dari tabung dianggap konstan

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisa pengaruh pH, konsentrasi inhibitor dan kecepatan putar terhadap perlindungan korosi pada baja AISI 1045 di lingkungan yang mengandung gas CO₂
2. Menganalisa mekanisme inhibisi inhibitor korosi *imidazoline* yang dipengaruhi oleh pH, konsentrasi inhibitor dan kecepatan putar pada baja AISI 1045 di lingkungan yang mengandung gas CO₂

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Hasil penelitian ini, diharapkan dapat dijadikan referensi pada penggunaan inhibitor komersial pada lingkungan industri minyak dan gas bumi.
2. Mempelajari mekanisme inhibisi dengan adanya penambahan inhibitor komersial berbasis turunan imidazoline pada pipa baja karbon pada lingkungan industri minyak dan gas bumi.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

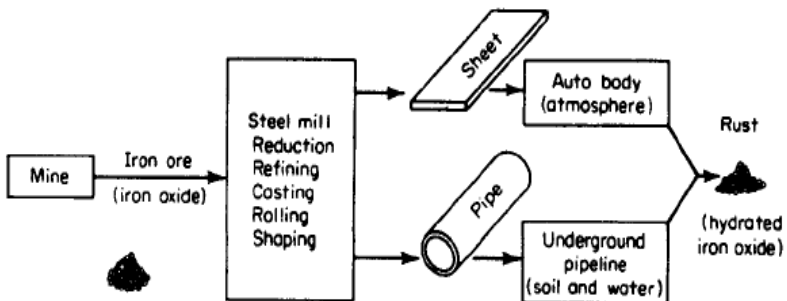


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Korosi

Korosi adalah degradasi material karena bereaksi dengan lingkungannya. Korosi adalah hal ilmiah yang pasti akan terjadi pada setiap material, karena korosi adalah peristiwa kembalinya logam ke bentuk asalnya sebelum logam tersebut melalui proses pemurnian. Siklus yang terjadi pada logam besi dapat dilihat pada gambar 2.1 dibawah ini (Fontana, 1987).



Gambar 2.1 Siklus yang terjadi pada logam (Fontana, 1987)

Ada beberapa elemen yang harus ada dalam sebuah mekanisme korosi yaitu adanya anoda yang merupakan tempat terjadinya reaksi oksidasi dan tempat dimana logam akan terkorosi, kemudian terdapat katoda yang merupakan tempat terjadinya reaksi reduksi dengan menerima elektron dari hasil reaksi oksidasi, lalu adanya elektrolit yang menghubungkan antara anoda dan katoda dan terdapatnya konduktor yang menghubungkan anoda dan katoda. (Peabody, 2001).

Sesuai dengan prinsip elektrokimia, reaksi korosi terjadi karena reaksi yang terjadi pada katoda yaitu reaksi reduksi dan reaksi pada anoda yaitu reaksi oksidasi. Reaksi reduksi dan

Laporan Tugas Akhir

Jurusan Teknik Material dan Metalurgi



oksidasi yang terjadi pada katoda dan anoda dapat dijelaskan sebagai berikut : (Fontana, 1987).

- Anoda :
 - a. $\text{Fe} \longrightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^- \dots\dots\dots (2.1)$
- Katoda :
 - a. Evolusi Hidrogen
 $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{H}_2 \dots\dots\dots (2.2)$
 - b. Reduksi Oksigen (Asam)
 $\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O} \dots\dots\dots (2.3)$
 - c. Reduksi Oksigen (Asam/Basa)
 $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \longrightarrow 4\text{OH}^- \dots\dots\dots (2.4)$
 - d. Reduksi Air (Netral/Basa)
 $\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^- \dots\dots\dots (2.5)$
 - e. Reduksi ion logam
 $\text{M}^{3+} + \text{e}^- \longrightarrow \text{M}^{2+} \dots\dots\dots (2.6)$

2.2 Jenis-Jenis Korosi

Korosi yang menyerang logam terdapat berbagai jenis berdasarkan jenis kerusakan yang dihasilkan dan morfologinya. Terdapat delapan jenis korosi yang menyerang logam, yaitu adalah sebagai berikut : (Fontana, 1987)

1. Korosi Merata (*Uniform*)
2. Korosi Galvanik
3. Korosi Celah (*Crevice Corrosion*)
4. Korosi Sumuran
5. Korosi Batas Butir
6. Korosi Erosi
7. *Stress Corrosion Cracking*
8. Dealloying (*selective leaching*)

Laporan Tugas Akhir

Jurusan Teknik Material dan Metalurgi



2.3 Pengukuran Laju Korosi

Laju korosi adalah banyaknya logam yang terlepas dari logam tiap satu satuan waktu dari permukaan logam tersebut. Dengan perhitungan laju korosi, akan didapatkan estimasi umur pakai dari suatu material. Laju korosi pada umumnya menggunakan satuan *miles per year (mpy)*. Perhitungan laju korosi dapat menggunakan metode weight loss maupun melalui kurva tafel. Nilai dari 1 *mils* setara dengan 0,001 *inch*. Berikut ini adalah perbandingan laju korosi dari berbagai macam satuan. Semakin tinggi nilai laju korosi, maka korosi yang terjadi akan semakin cepat. (Jones, 1996).

Tabel 2.1 Derajat Laju Korosi (Jones, 1996)

Relative Corrosion Resistance ^a	mpy	mm/yr	μm/yr	nm/h	pm/s
Outstanding	< 1	< 0.02	< 25	< 2	< 1
Excellent	1–5	0.02–0.1	25–100	2–10	1–5
Good	5–20	0.1–0.5	100–500	10–50	20–50
Fair	20–50	0.5–1	500–1000	50–150	20–50
Poor	50–200	1–5	1000–5000	150–500	50–200
Unacceptable	200+	5+	5000+	500+	200+

2.3.1 Metode Kehilangan Berat

Metode yang paling umum untuk mengetahui laju korosi adalah dengan menggunakan metode kehilangan berat (weight loss) dengan menggunakan sampel (corrosion coupon) yang direndam ke dalam lingkungan korosi. Metode ini didasarkan pada perbedaan berat antara sebelum sampel dimasukkan ke dalam lingkungan korosi dan setelah sampel dimasukkan ke dalam lingkungan korosi. Pada umumnya sampel dapat berupa segi empat maupun dalam bentuk lingkaran. Preparasi sampel dilakukan untuk menghilangkan lapisan oksida yang menempel pada permukaan sampel. Preparasi dilakukan dengan menggunakan kertas amplas dengan beberapa grade. Setelah itu

Laporan Tugas Akhir

Jurusan Teknik Material dan Metalurgi



dilakukan perendaman pada lingkungan korosi sesuai dengan waktu yang telah direncanakan. (Jones, 1996). Perhitungan laju korosi dengan menggunakan metode weight loss ini adalah sebagai berikut : (Paksi, 2015)

$$\text{Laju Korosi (mpy)} = \frac{KW}{DAT} \dots \dots \dots (2.7)$$

K= Konstanta Laju Korosi (mpy = $3,45 \times 10^6$)
W= Berat yang Hilang (gram)
D= Berat Jenis Logam (gram/cm³)
A= Luas Permukaan Kontak (cm²)
T= Waktu (Jam)

2.3.2 Metode Polarisasi

Metode untuk mengukur laju korosi selanjutnya adalah dengan metode polarisasi. Polarisasi adalah perubahan potensial dari keadaan setimbang. Ketika suatu logam tidak berada pada kesetimbangan dengan larutan elektrolit, potensial elektrodanya berbeda dari potensial korosi bebas, dan selisih keduanya disebut polarisasi. Pada polarisasi katodik (η_c), elektron disuplai ke permukaan logam karena laju reaksi berjalan dengan lambat akan menyebabkan potensial permukaan menjadi lebih negatif. Pada polarisasi anodik, elektron dihilangkan dari permukaan logam yang disebabkan oleh kurangnya perubahan potensial positif sebagai akibat dari pelepasan elektron berjalan secara lambat pada reaksi yang terjadi di permukaan. Parameter ini dapat digunakan untuk mengetahui laju korosi logam dengan menggunakan persamaan tafel sebagai berikut :

$$\eta_a = \beta_a \log \frac{ia}{io} \dots \dots \dots (2.8)$$

$$\eta_c = \beta_c \log \frac{ic}{io} \dots \dots \dots (2.9)$$

Dengan η_a , η_c , ia , ic , dan io berturut turut adalah potensial polarisasi anodik, potensial polarisasi katodik, rapat

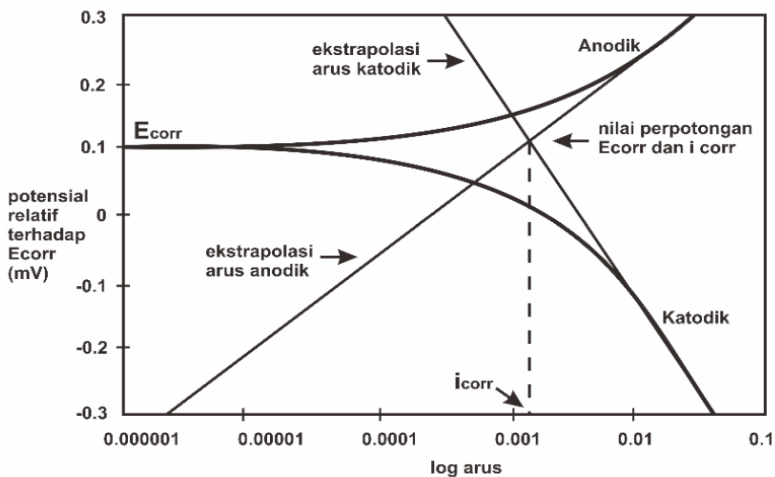
Laporan Tugas Akhir

Jurusan Teknik Material dan Metalurgi



arus anodik, rapat arus katodik dan rapat arus pada kesetimbangan. Sedangkan β_a dan β_c adalah konstanta tafel atau beta anodik dan beta katodik. (Jones, 1996).

Pada persamaan diatas nilai polarisasi baik anodik maupun katodik dengan $\log i$ berupa satu garis lurus dengan kemiringan sama dengan konstanta tafel. Rapat arus sebanding dengan laju korosi, karena arus yang sama bila terkonsentrasi pada luas permukaan yang lebih kecil menghasilkan laju korosi yang lebih besar. Kinetika elektrokimia pada sebuah metal yang terkosi dapat dikarakteristikan dengan penentuan kurang lebih 3 parameter polarisasi seperti *Corrosion current density*, *corrosion potensial*, dan *Tafel Slopes*. Kemudian perilaku korosi dapat diperlihatkan oleh sebuah kurva polarisasi (E vs $\log i$) pada gambar 2.2. (Rahman, 2016).



Gambar 2.2 Contoh Grafik Pengujian Polarisasi (Rahman, 2016)

Laju korosi dapat dihitung secara otomatis dengan menggunakan software analisis maupun dengan metode manual yaitu dihitung dengan membuat garis linear pada kurva anodik dan katodik, kemudian dilihat perpotongannya dan didapatkan

Laporan Tugas Akhir

Jurusan Teknik Material dan Metalurgi



nilai i_{corr} . Kemudian, masukkan nilai tersebut kedalam rumus untuk mengetahui nilai laju korosinya. Rumus tersebut adalah sebagai berikut

$$mpy = \frac{0,129 \times i_{corr} \times E}{D} \dots\dots\dots(2.10)$$

D = Berat Jenis Material

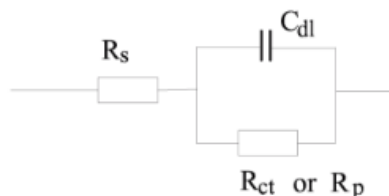
I = Rapat Arus Korosi

E = Berat Ekuivalen Material yang Mengalami Korosi
(Octoviawan, 2012)

2.4 Pengujian Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)

Metode *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS) dilakukan untuk mempelajari kinetika reaksi elektrokimia, sifat listrik antar muka, mekanisme korosi, serta mekanisme inhibisi. Metode ini juga dapat digunakan untuk memprediksi perilaku korosi secara akurat yang direpresentasikan sebagai model rangkaian listrik.

EIS merupakan metode dimana impedansi dari suatu rangkaian elektrokimia dipelajari sebagai fungsi gelombang frekuensi AC. Pengujian EIS akan menghasilkan kurva Nyquist yang memberikan sebuah sirkuit atau rangkaian listrik yang terdiri dari hambatan (R) dan kapasitansi (C) yang biasa disebut sirkuit RC. Rangkaian listrik hasil kurva nyquist pada gambar 2.3



Gambar 2.3 Rangkaian Listrik Hasil Kurva Nyquist (Dewi, 2014)

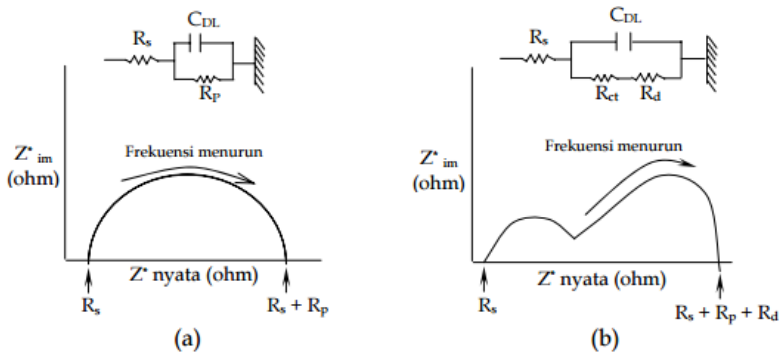
Dari gambar 2.3, didapatkan beberapa parameter dari hasil pengujian EIS, yaitu tahanan polarisasi (R_p), tahanan larutan

Laporan Tugas Akhir

Jurusan Teknik Material dan Metalurgi



(R_s), kapasitansi lapisan rangkap ganda (CDL). teknik pengukuran spektroskopi impedansi elektrokimia berdasarkan pengertian bahwa arus listrik yang mengalir melintasi suatu antarmuka logam dan larutan dipandang sebagai bagian dari reaksi elektrokimia yaitu proses transfer muatan dan bagian dari proses yang membentuk antarmuka bermuatan. Gambar 2.4 menggambarkan model sirkuit sistem elektrokimia logam yang tercelup dalam larutan elektrolit. Gambar 2.4 (a) menunjukkan pada antarmuka logam dengan larutan terdapat tahanan polarisasi (R_p), sedangkan pada Gambar 2.4 (b) menunjukkan adanya hambatan transfer muatan (R_{ct}), dan hambatan difusi (R_d) paralel dengan lapisan rangkap listrik yang dinyatakan oleh adanya kapasitansi lapis rangkap (CDL) dan secara seri dengan hambatan listrik larutan yang dinyatakan sebagai (R_s). Spektrum EIS berupa aliran Nyquist terlukiskan di bawah masing – masing sirkuit ekivalen. (Amalia, 2015).



Gambar 2.4 Aliran Nyquist. (a) Spektrum EIS aliran Nyquist untuk reaksi antarmuka yang dikendalikan oleh hambatan perpindahan muatan listrik, dan (b) Aluran Nyquist untuk reaksi antarmuka yang dikendalikan proses difusi. (Amalia, 2015)

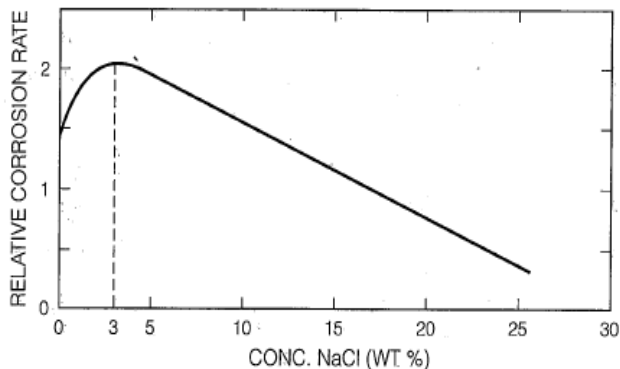
2.5 Pengaruh Konsentrasi NaCl pada Laju Korosi

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Larutan NaCl banyak digunakan pada berbagai macam pengujian korosi yang bertujuan untuk mensimulasikan logam pada kondisi yang sebenarnya pada lingkungan air laut. Korosi yang terjadi pada larutan NaCl disebabkan karena adanya anion dan kation dari larutan NaCl yang akan meningkatkan konduktifitas larutan tersebut. Sehingga, elektron akan semakin mudah untuk bergerak dari anoda menuju ke katoda.

Konsentrasi NaCl juga berpengaruh terhadap kelarutan oksigen pada larutan. Semakin tinggi kelarutan NaCl, maka kelarutan oksigen akan semakin berkurang. Sehingga, akan mempengaruhi laju korosi yang terjadi pada logam pada larutan NaCl teraerasi. Pada larutan dengan kadar NaCl 3 % sampai dengan 3,5 % merupakan laju korosi maksimum pada larutan NaCl. Hal ini dapat dilihat dari grafik 2.1 yang menunjukkan pengaruh konsentrasi NaCl pada laju korosi. (Jones, 1996)



Gambar 2.5 Pengaruh Konsentrasi NaCl terhadap Laju Korosi pada baja karbon dalam larutan teraerasi (Jones, 1996)

2.6 Korosi yang Disebabkan oleh Gas CO₂

Korosi yang disebabkan oleh adanya gas CO₂ yang terlarut pada air pada industri minyak dan gas bumi akan meningkatkan derajat kerusakan pada pipa penyalur dan peralatan yang digunakan. Kebocoran pipa yang disebabkan oleh korosi

Laporan Tugas Akhir

Jurusan Teknik Material dan Metalurgi



CO₂ dapat menyebabkan terjadinya kebakaran, pencemaran air serta lingkungan. Ketika gas CO₂ terlarut pada air, maka akan terbentuk asam karbonat yang sangat korosif pada baja karbon daripada korosi yang disebabkan oleh HCl pada pH yang sama. (Zhang, 2007). Lingkungan asam yang disebabkan oleh terbentuknya lapisan asam karbonat pada permukaan logam akan mengurangi luas permukaan logam yang bersentuhan dengan elektrolit, sehingga secara tidak langsung akan mengurangi laju korosi. Akan tetapi, lingkungan yang memiliki laju alir yang turbulen akan merusak lapisan produk korosi besi karbonat (FeCO₃). Sehingga, reaksi korosi akan terjadi seiring dengan rusaknya lapisan besi karbonat (FeCO₃). (Jones, 1996). Lapisan besi karbonat dapat berperan untuk menahan terjadinya korosi, akan tetapi apabila terjadi kerusakan pada lapisan besi karbonat akan terjadi korosi lokal. (Sujianto, 2008). Gas CO₂ yang berasal dari sumur eksploitasi minyak dan gas bumi cukup memberikan efek yang buruk terhadap pipa, sehingga harus dilakukan pencegahan terhadap korosi internal. Adapun mekanisme reaksi kimia korosi yang disebabkan oleh gas CO₂ pada adalah sebagai berikut :

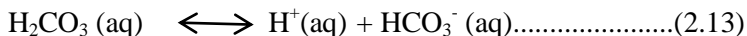
- a. Disolusi Karbon Dioksida



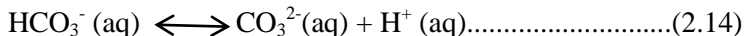
- b. Hidrasi Karbon Dioksida



- c. Disosiasi Asam Karbonat



- d. Disosiasi Ion Bi-Karbonat



- e. Reaksi Oksidasi Fe



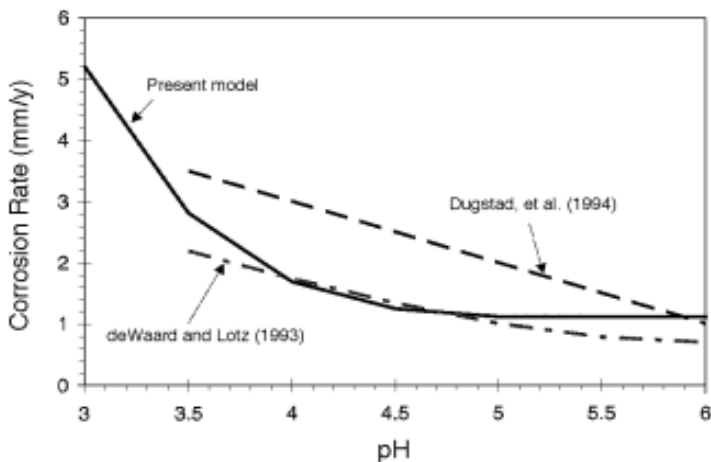
- f. Presipitasi Besi Karbonat





2.7 Faktor yang Mempengaruhi Korosi CO₂

Korosi yang disebabkan oleh lingkungan yang mengandung gas CO₂, sangat dipengaruhi oleh nilai pH. Gambar 2.6 adalah pengaruh pH terhadap laju korosi. Nilai pH menentukan reaksi katodik yang lebih dominan terjadi pada logam.



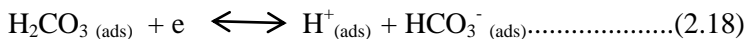
Gambar 2.6 Pengaruh pH Terhadap Laju Korosi (Nesic, 1996)

Peningkatan pH (>4) akan menurunkan kelarutan FeCO₃, sehingga menyebabkan terjadinya peningkatan laju pengendapan dari FeCO₃. Sehingga, luas permukaan baja yang bersentuhan langsung dengan elektrolit akan berkurang. Hal ini menyebabkan menurunnya laju korosi. (Pandyo, 2012).

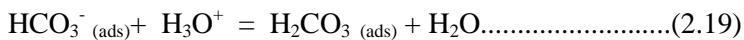
Jika pH lingkungan yang mengandung gas CO₂ dibawah 4, maka reaksi katodik yang lebih dominan adalah reduksi hidrogen.



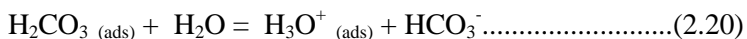
Adanya perbedaan pH pada larutan elektrolit akan mempengaruhi konsentrasi molekul dan ion yang terbentuk (HCO_3^- , CO_3^{2-} , H_2CO_3). Pada media dengan pH kurang dari 5, disolusi karbon dioksida terjadi dalam bentuk molekul H_2CO_3 dengan presentase 99,5 %.



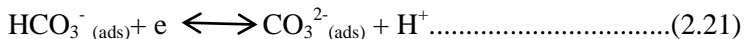
Ketika reaksi katodik terjadi dengan persamaan 2.18, regenerasi asam karbonat akan terjadi secara simultan dengan persamaan 2.19



Pada kasus ini, ion hydroxonium (H_3O^+) terlibat pada reaksi katodik. Ion hydroxonium (H_3O^+) terbentuk dari reaksi hidrolisis asam karbonat pada persamaan 2.20.



Pada media dengan pH 6,5 sekitar 30 persen H_2CO_3 dan 70 persen HCO_3^- berperan pada reaksi katodik. Sehingga, reduksi HCO_3^- lebih dominan dibandingkan dengan reduksi H_2CO_3 . Reaksi katodik yang terjadi adalah

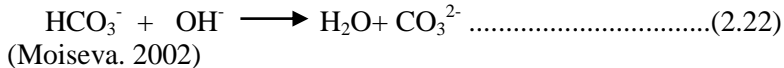


Pada media dengan pH lebih besar dari 6,8 reaksi katodik yang dominan adalah reduksi HCO_3^- sesuai dengan persamaan reaksi 2.16. Semakin meningkatnya konsentrasi asam karbonat dan ion HCO_3^- , akan meningkatkan laju reaksi katodik.

Pada pH lebih besar atau sama dengan 7, persamaan reaksi 2.21 lebih dominan.



Akumulasi dari ion OH^- pada larutan dapat bereaksi membentuk ion karbonat dengan reaksi pada persamaan 2.22.



Korosi yang disebabkan oleh lingkungan yang mengandung gas CO_2 juga bergantung pada besarnya nilai tekanan gas CO_2 yang diberikan. Semakin tinggi tekanan gas CO_2 yang diberikan, maka laju korosi akan semakin meningkat pula. Berdasarkan teori yang telah diketahui dengan meningkatnya tekanan parsial CO_2 , maka konsentrasi dari asam karbonat juga akan meningkat. Sehingga, produk korosi yang terbentuk berupa besi karbonat (FeCO_3) juga akan semakin banyak. Peningkatan tekanan parsial CO_2 akan meningkatkan konsentrasi CO_3^{2-} dan kejenuhan besi karbonat (FeCO_3), sehingga akan mempercepat terbentuknya besi karbonat (FeCO_3). (Pandyo, 2012).

Temperatur sangat berpengaruh pada laju korosi baja. Pada temperatur diatas temperatur kamar, laju korosi akan meningkat dan kelarutan oksigen akan semakin menurun. Pengaruh temperatur terhadap laju korosi CO_2 dapat dijabarkan pada gambar 2.7

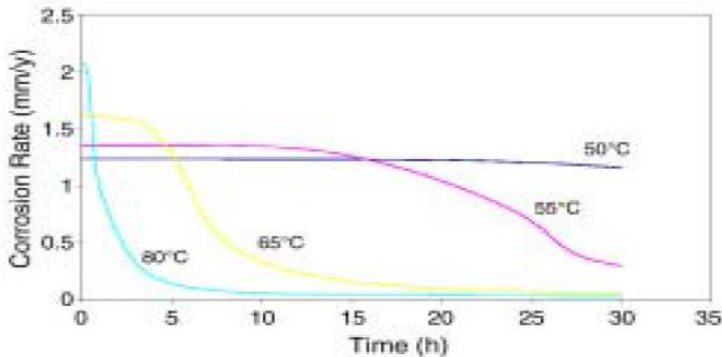
1. Pada temperatur dibawah 50°C , sangat sedikit sekali lapisan pasif besi karbonat yang terbentuk. Sehingga, laju korosi tidak secara drastis terdapat penurunan.
2. Pada temperatur diantara 55°C sampai 65°C , proses pembentukan lapisan film besi karbonat berlangsung dengan lambat. Lapisan yang dihasilkan memiliki sifat proteksi yang rendah karena adanya porous pada lapisan film.
3. Pada temperatur 80°C , laju korosi pada logam terjadi secara maksimum. Sehingga dihasilkan lapisan film besi karbonat

Laporan Tugas Akhir

Jurusan Teknik Material dan Metalurgi



yang tebal dan kuat, sehingga proteksi terhadap korosi selanjutnya cukup baik.



Gambar 2.7 Pengaruh Laju Korosi Terhadap Temperatur
(Nesic, 2003)

Korosi pada pipa penyalur juga disebabkan oleh laju aliran yang terjadi. Adanya produk korosi, akan mengurangi permukaan baja yang kontak dengan larutan elektrolit. Sehingga, secara tidak langsung akan mengurangi laju korosi baja. Saat produk korosi besi karbonat (FeCO_3) maupun lapisan tipis akibat penambahan inhibitor, pada laju alir turbulen dapat meningkatkan transport massa menuju dan menjauhi permukaan logam, sehingga akan meningkatkan laju korosi.

Saat produk korosi besi karbonat (FeCO_3) maupun lapisan tipis akibat penambahan inhibitor sudah terbentuk, laju alir dapat merusak lapisan produk korosi besi karbonat maupun lapisan tipis akibat penambahan inhibitor. Akibatnya, korosi akan menyerang bagian permukaan yang mengalami kerusakan lapisan pelindung, sehingga korosi yang terjadi adalah korosi setempat seperti korosi sumuran (*pitting corrosion*). (Pandyo, 2012). Profil laju alir fluida dapat diketahui apakah laminar atau turbulen dengan menggunakan bilangan Reynold. Perhitungan untuk menentukan bilangan Reynold adalah sebagai berikut



$$RE = U_{cyl} d_{cyl} \rho / \mu \dots \dots \dots (2.23)$$

- RE = Bilangan Reynold
- ρ = Berat Jenis Larutan (gr/cm³)
- μ = Viskositas Larutan (gr/cm s)
- d_{cyl} = Diameter Luar Sampel (cm)
- U_{cyl} = Kecepatan Linear dari Permukaan Luar (cm/s)

Kecepatan linear dari permukaan luar dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$U_{cyl} = \omega r_{cyl} = \pi d_{cyl} F / 60 \dots \dots \dots (2.24)$$

- ω = Kecepatan Putar (rad/s)
- r_{cyl} = Jari-jari sampel (cm)
- F = Kecepatan Putar (RPM)

Penentuan bilangan reynold didasarkan pada laju alir fluida, sehingga apabila dilakukan percobaan dengan menggunakan kecepatan putar harus dilakukan konversi ke laju alir dengan menggunakan persamaan 2.24.

Apabila dilakukan percobaan dengan menggunakan kecepatan putar 5 RPM sampai 2000 RPM, transisi antara kecepatan alir laminar dan turbulen adalah pada kecepatan 20 RPM yang mempunyai bilangan Reynold 200. Kecepatan dibawah 20 RPM merupakan aliran laminar dan diatas 20 RPM merupakan aliran turbulen. Sehingga didapatkan data berupa kecepatan putar dan bilangan Reynold adalah sebagai berikut.

Laporan Tugas Akhir

Jurusan Teknik Material dan Metalurgi



Tabel 2.2 Data Perhitungan Bilangan Reynold dengan Menggunakan RCE (PINE Reasearch Instrument, 2006).

Rotation Rate F (RPM)	Rotation Rate ω (rad / sec)	Surface Velocity* U_{cyl} (cm / sec)	Wall Shear Stress* τ_{cyl} (g cm ⁻¹ s ⁻²)	Reynolds Number* Re (unitless)
5	0.524	0.31	0.0025	42
10	1.047	0.62	0.0082	84
20	2.094	1.26	0.0267	169
50	5.236	3.14	0.1270	422
100	10.47	6.28	0.4125	844
200	20.94	12.6	1.3402	1688
500	52.36	31.4	6.3631	4219
1000	104.7	62.8	20.674	8438
2000	209.4	125.7	67.169	16876

* These quantities assume a typical Pine RCE tip with outer diameter 1.2 cm being rotated in water at 25°C. For pure water at 25°C, the density is 0.997 g cm⁻³ and the absolute viscosity is 0.00891 g cm⁻¹ s⁻¹.

Adanya laju aliran fluida akan meningkatkan *wall shear stress* pada permukaan silinder. Berdasarkan pengamatan *Einsberg*, *wall shear stress* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\tau_{cyl} = 0,0791 \rho Re^{-0,3} U_{cyl}^2 \dots\dots\dots(2.25)$$

Semakin besar nilai *wall shear stress*, maka akan semakin besar pula gerusan pada lapisan produk korosi maupun lapisan tipis akibat penambahan inhibitor yang sudah terbentuk. Sehingga, akan meningkatkan laju korosi pada permukaan logam. (PINE Reasearch Instrument, 2006).

2.8 Perlindungan Terhadap Korosi

Perlindungan terhadap korosi dapat dilakukan dengan beberapa metode yaitu untuk mengatasi korosi eksternal khususnya pada pipa bawah tanah digunakan proteksi katodik baik dengan menggunakan metode anoda korban maupun dengan metode arus paksa. Pemberian lapisan berupa coating dapat digunakan secara bersamaan dengan proteksi katodik pada pipa bawah tanah. Sehingga, proteksi terhadap korosi dapat berjalan secara maksimal. Proteksi anodik juga dapat digunakan untuk

Perlindungan terhadap korosi internal dapat menggunakan inhibitor korosi yang akan melindungi logam. Inhibitor banyak digunakan karena kemampuannya untuk bereaksi dengan lingkungannya untuk melindungi logam dari serangan korosi. (Peabody, 2001).

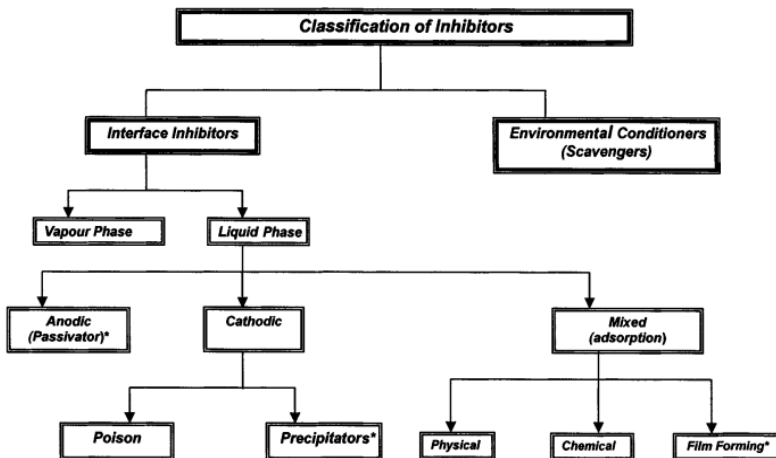
- Memodifikasi polarisasi katodik dan anodik (tafel slope)
- Mengurangi pergerakan ion menuju ke permukaan logam
- Meningkatkan tahanan di permukaan logam

$$CR_1 = \text{Laju Korosi dengan Inhibitor (mpy)}$$



Secara umum, semakin meningkat konsentrasi inhibitor, maka efisiensi inhibitor akan semakin meningkat. Inhibitor komersial telah banyak diproduksi dengan berbagai merk, tetapi tidak memberikan informasi secara detail terkait dengan komposisi kimia. Sehingga, inhibitor komersial sangat susah untuk dibedakan antara produk dari sumber yang berbeda, karena mengandung agen antikorosi yang sama. Inhibitor komersial biasanya mengandung satu atau lebih senyawa inhibitor dengan tambahan zat adiktif seperti sulfaktan, *oxigen scavenger*, *demulsifier*, zat untuk meningkatkan pembentukan lapisan film. (Roberge, 2000).

Inhibitor dapat diklasifikasikan menjadi dua bagian, yaitu *enviromental conditioner* dan *interface inhibitor*. Diagram klasifikasi inhibitor berdasarkan jenisnya adalah sebagai berikut



Gambar 2.8 Klasifikasi Inhibitor (Uhlig, 2000)

A. Enviromental Conditioners

Pengendalian korosi dilakukan dengan cara menghilangkan penyebab terjadinya korosi pada media tersebut. Karena, zat-zat agresif penyebab korosi telah dihilangkan dari



media tersebut, maka laju korosi akan menurun. Proses pengambilan zat-zat yang bersifat agresif disebut *enviromental conditioners* atau *scavengers*. Pada situasi pada larutan alkali atau daerah sekitar kondisi netral, penggunaan scavengers dapat mengontrol laju korosi dengan menurunkan kandungan oksigen.

B. Interface Inhibitor

Pengendalian korosi pada interface inhibitor dilakukan dengan cara membentuk lapisan tipis pada daerah interface atau daerah yang kontak langsung dengan lingkungan. Interface inhibitor dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu inhibitor fasa uap (vapour phase) dan inhibitor fasa cair (liquid phase).

1. Inhibitor Fasa Cair (Liquid Phase)

Inhibitor fasa cair dapat dibagi menjadi tiga kelompok, yaitu inhibitor anodik, inhibitor katodik dan inhibitor campuran. Pembagian ini berdasarkan reaksi mana yang dihambat apakah reaksi anodik, katodik, maupun keduanya.

a. Inhibitor Anodik

Inhibitor anodik bekerja untuk mengurangi laju korosi dengan cara membentuk atau memfasilitasi pembentukan lapisan film yang akan menghambat reaksi terlarutnya logam anoda. Penggunaan inhibitor anodik harus memperhatikan konsentrasi kritisnya. Apabila, konsentrasi kurang dari konsentrasi kritisnya, maka korosi akan menyerang permukaan logam. Konsentrasi kritis dalam pemberian inhibitor ini bergantung pada lingkungan dan konsentrasi ion yang bersifat agresif. (Uhlig, 2000).

b. Inhibitor Katodik

Inhibitor katodik adalah inhibitor yang dapat menurunkan laju korosi dengan cara menghambat salah satu tahap pada proses katodik. Molekul organik netral teradsorpsi di permukaan logam, sehingga mengurangi akses ion hidrogen menuju permukaan elektroda. Dengan berkurangnya akses ion hidrogen yang menuju

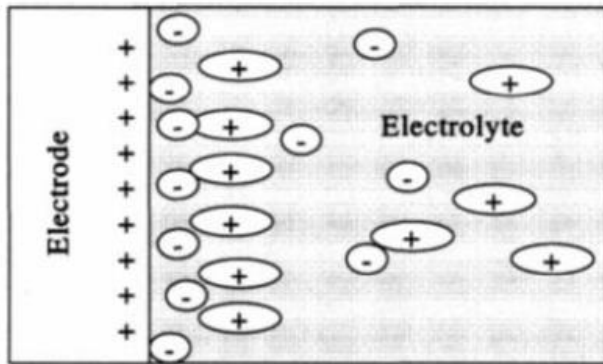


permukaan elektroda, maka *hydrogen overvoltage* akan meningkat, sehingga menghambat reaksi evolusi hidrogen yang berakibat menurunkan laju korosi. Inhibitor katodik dianggap aman meskipun jumlah inhibitor yang ditambahkan terlalu sedikit. Hal ini karena seberapa pun bagian dari katoda yang terselimuti oleh lapisan garam tetap akan menurunkan laju korosi (Paksi, 2015)

c. Inhibitor Campuran

Inhibitor campuran pada dasarnya adalah senyawa organik yang tidak dapat dikelompokkan ke dalam golongan anodik maupun katodik. Keefektifan inhibitor organik dikaitkan dengan luasnya daerah adsorpsi yang melindungi permukaan logam dari korosi. Penyerapan atau adsorpsi inhibitor bergantung pada struktur inhibitor, muatan yang ada di permukaan logam dan jenis elektrolit. Inhibitor campuran melindungi permukaan logam dengan tiga cara yaitu *physical adsorption*, *chemisorption*, dan *pembentukan film*.

Physical (electrostatic) adsorption, proses penyerapan atau adsorpsinya dapat terjadi karena adanya gaya tarik menarik (elektrostatik) antara permukaan logam dan inhibitor. Ketika permukaan logam bermuatan positif, maka inhibitor dengan muatan negatif (anion) akan terjadi penyerapan atau adsorpsi. Apabila molekulnya memiliki muatan positif, molekul tersebut akan bergabung dengan muatan negatif sebagai perantara, sehingga dapat menghambat muatan positif logam. Inhibitor ini memiliki kelebihan yaitu proses adsorpsinya sangat cepat tetapi memiliki kekurangan yaitu mudah lepas dari permukaan logam. Peningkatan temperatur juga akan mengakibatkan kerusakan molekul yang teradsorpsi.



Gambar 2.9 Physical Adsorption antara anion inhibitor dan muatan positif logam (Ahmad, 2006)

Chemisorption Adsorption adalah penyerapan yang melibatkan terjadinya berbagi muatan (*sharing electron*) atau serah terima muatan antara inhibitor dan permukaan logam. Penyerapan secara *chemisorption* membutuhkan waktu yang lebih lama bila dibandingkan dengan *physical adsorption*. Proses penyerapan chemisorpsi merupakan reaksi yang tidak dapat balik. Inhibitor organik dapat mengurangi laju korosi dengan penyerapan *chemisorption* pada permukaan logam melalui ikatan antara logam dan hetero atom seperti atom P, N, S, O.

Pembentukan film adalah mekanisme inhibitor dimana molekul inhibitor yang teradsorpsi mengalami reaksi di permukaan, sehingga dapat terbentuk film polimerik dengan ketebalan sekitar seratus angstrom. Proses inhibisi ini akan efektif jika lapisan film yang terbentuk tidak larut dan rusak, sehingga efektif untuk melindungi permukaan logam.

Kekuatan adsorpsi inhibitor pada permukaan logam dapat ditunjukkan pada *Adsorption Isoterm*, yang menunjukkan hubungan antara konsentrasi inhibitor di permukaan logam dan di larutan. Untuk mengetahui kekuatan adsorpsi dilakukan dengan menggunakan rumus isoterm. Dari hasil yang paling bagus, kemudian data termodinamik adsorpsi dilakukan evaluasi.

Laporan Tugas Akhir

Jurusan Teknik Material dan Metalurgi



Berikut ini adalah jenis adsorption isoterm yang digunakan untuk menentukan efisiensi inhibitor. (Uhlig, 2000).

Terdapat beberapa tipe isoterm adsorpsi yang dapat dijadikan referensi ketika mempelajari mekanisme inhibitor korosi. Salah satunya adalah isoterm adsorpsi *Langmuir* yang merupakan model paling sederhana dengan asumsi tidak ada interaksi antar molekul adsorbat, lapisan terbentuk berupa *monolayer*, maksimum fraksi penutupan $\theta=1$ (saat permukaan adsorbat jenuh dengan adsorben), permukaan adsorbat homogen sehingga setiap area permukaan memiliki energi ikatan yang sama dan molekul yang teradsorpsi tidak bergerak pada permukaan. (Firmansyah, 2011).

$$K_{ads} = \frac{\theta}{C(1-\theta)} \dots \dots \dots (2.27)$$

$$\Delta G = -RT \ln (55,5 \times K_{ads}) \dots \dots \dots (2.28)$$

$$\theta = \frac{CR_0 - CR_1}{CR_0} \dots \dots \dots (2.29)$$

Dimana C adalah konsentrasi inhibitor pada larutan, K adalah konstanta yang berhubungan dengan afinitas adsorpsi dan T adalah temperatur kamar.

Persamaan *isoterm* adsorpsi Freundlich didasarkan atas terbentuknya lapisan monolayer dari molekul-molekul adsorbat (zat yang terserap) pada permukaan adsorben (zat yang menyerap). Namun, pada adsorpsi Freundlich, situs-situs aktif pada permukaan adsorben bersifat heterogen. Persamaan *isoterm* Freundlich dapat dituliskan sebagai berikut : (Paksi. 2015)

$$\theta = K_{ads} \times C \dots \dots \dots (2.30)$$

$$\Delta G = -RT \ln (55,5 \times K_{ads}) \dots \dots \dots (2.31)$$

Jika nilai ΔG lebih positif dari -20 kJ/mol maka proses adsorpsi nya adalah fisisorpsi (Zhang, Xueyuan. 2000), jika ΔG



bernilai antara 20-40 kJ/mol maka proses adsorpsinya adalah campuran (Paksi. 2015), dan jika nilai ΔG nya lebih negatif dari - 40 kJ/mol maka proses adsorpsi nya adalah kemisorpsi. (Zhang, Huan. 2015).

2. Vapour Phase Inhibitor

Penggunaan inhibitor ini adalah untuk melindungi permukaan logam dari serangan korosi atmosfer. Penggunaanya dilakukan dengan menggunakan kertas pembungkus atau menempatkannya pada wadah tertutup. Proses inhibisinya disebabkan oleh penguapan yang lambat dari inhibitor sehingga logam terlindungi dari udara dan kelembapan. (Uhlig, 2000).

2.10 Inhibitor Korosi Bebas Imidazoline

Inhibitor korosi komersial adalah inhibitor korosi organik yang telah digunakan berbagai macam industri untuk melindungi peralatan produksi dari kerugian yang ditimbulkan karena korosi. Inhibitor korosi komersial terdiri dari salah satu surfaktan, yaitu *fatty acid*, *amines*, *fatty amines* atau *diamines*, *fatty amido-amines* atau *imidazolines* dan *quaternary amines*. Surfaktan ini akan teradsorpsi pada permukaan baja yang akan dilindungi dan membentuk lapisan tipis pada permukaan baja. Sehingga akan menghambat korosi yang akan terjadi. (Durnie, 2001).

Imidazoline dan turunannya adalah salah satu inhibitor organik yang sangat efektif untuk melindungi permukaan logam dari serangan korosi dan telah banyak digunakan, khususnya untuk melindungi serangan korosi CO_2 . Karena sifatnya yang biodegradable, inhibitor turunan imidazoline dapat disebut sebagai *green corrosion inhibitor*. Efisiensi inhibitor turunan imidazoline sangat dipengaruhi oleh daya penyerapannya pada permukaan logam. (Zhang, Huan.2015).

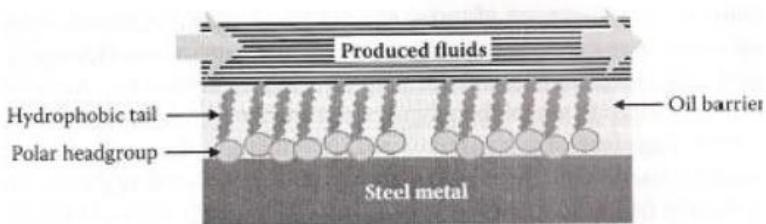
Inhibitor komersial berbasis turunan imidazoline merupakan salah satu inhibitor surfaktan yaitu molekul yang

Laporan Tugas Akhir

Jurusan Teknik Material dan Metalurgi



tersusun atas grup hidrofilik polar yang merupakan kepala dari molekul dan terdapat grup non polar hidrofobik yang merupakan ekor dari molekul. Inhibitor surfaktan bekerja dengan cara *physical adsorption* maupun secara *chemisorption* pada permukaan logam. Inhibitor organik pada banyak tipe adalah rantai panjang (C_{18}) senyawa hidrogen dan nitrogen. Molekul inhibitor mengandung sebuah kelompok nitrogen amine pada akhir rantai hidrokarbon. Kelompok $-NH_2$ yang aktif mengandung elektron yang belum berpasangan yang akan didonorkan pada permukaan logam. Ikatan *chemisorption* ini, akan menghalangi reaksi elektrokimia korosi. Kekuatan proteksi inhibitor bergantung pada kekuatan ikatan *chemisorption* ini. Sehingga, molekul air yang akan bereaksi dengan permukaan logam menjadi terhalang. Pasangan elektron berupa nitrogen ini bersifat hidrofilik yang dengan cara mengganti molekul air dengan molekul inhibitor. (Ahmad, 2006).



Gambar 2.10 Skema Inhibitor *Surfactant* (Woie, Kathrine. 2011)

Pada gambar 2.8 adalah mekanisme kerja dari inhibitor korosi berbasis *imidazoline*. Inhibitor *imidazoline* akan membentuk lapisan tipis yang melindungi permukaan logam dari fluida yang akan menyerang permukaan logam. Inhibitor *imidazoline* mempunyai *surface active molecule* (surfactant) yang memiliki komponen ekor hidrofobik dan kepala hidrofilik. (Woie, Kathrine. 2011).

Surfactant adalah zat yang dapat mereduksi tegangan permukaan atau tegangan antar muka antara dua fase, sehingga

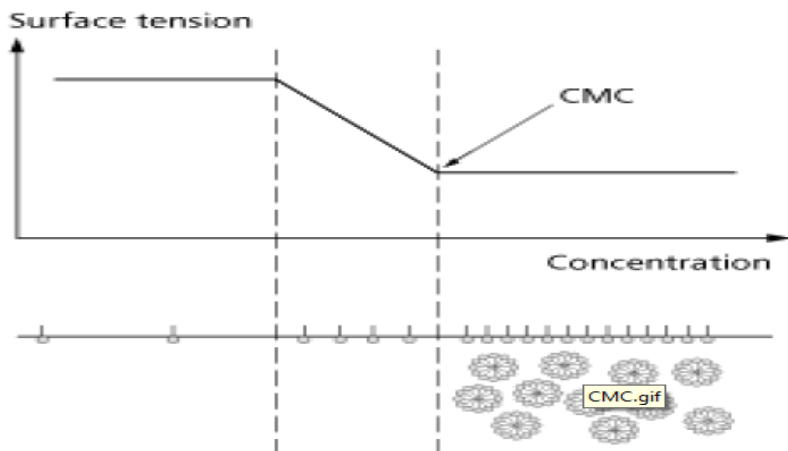
Laporan Tugas Akhir

Jurusan Teknik Material dan Metalurgi

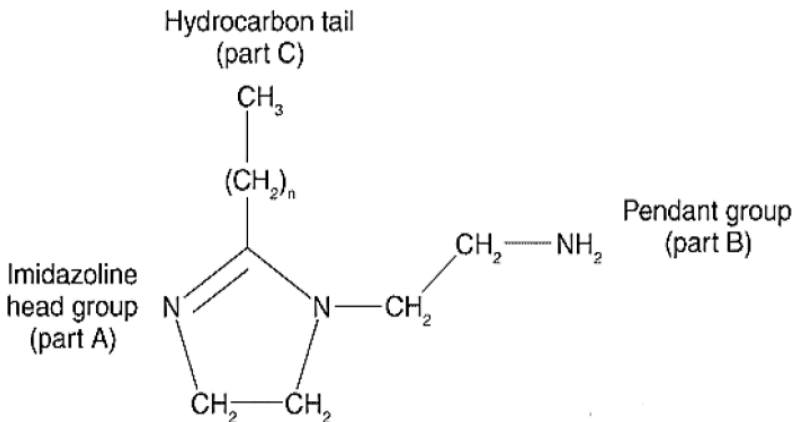


menjadi mediator untuk menstabilkan dua fase agar tidak saling bercampur. Kemampuan sebuah molekul surfaktan untuk terserap atau teradsorpsi pada permukaan logam. *Critical micelle concentration* (CMC) adalah indikator kunci untuk menentukan efektivitas dari inhibitor korosi. *Micelle* terbentuk ketika mencapai konsentrasi tertentu yaitu *critical micelle concentration* (CMC). Apabila konsentrasi surfaktan diatas dari critical micelle concentration (CMC), maka permukaan logam akan terlapsi oleh lebih dari satu monolayer dan akan terbentuk lapisan pasif di permukaan logam. Adanya penambahan inhibitor surfaktan ke dalam larutan diatas critical micelle concentration (CMC) akan membentuk micelles atau beberapa lapisan yang teradsorpsi pada permukaan logam. Akibatnya, tegangan permukaan dan densitas arus korosi tidak berubah secara signifikan diatas critical micelle concentration (CMC). Oleh karena itu, inhibitor surfaktan yang baik adalah inhibitor yang dapat terserap atau teradsorpsi pada konsentrasi yang rendah. (Malik, 2011).

Pada gambar 2.11 adalah grafik antara tegangan permukaan dan konsentrasi inhibitor.



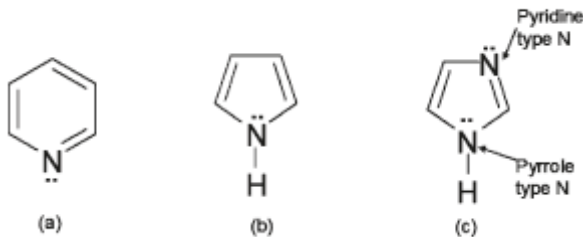
Gambar 2.11 Tegangan Permukaan vs Konsentrasi Inhibitor
(Woie, Kathrine. 2011).



Gambar 2.12 Struktur Molekul Inhibitor Berbasis Turunan
Imidazoline (Hutasoit, 2013)

Pada gambar 2.12 adalah struktur molekul dari inhibitor berbasis *imidazoline*. Mekanisme kerja dari inhibitor korosi berbasis *imidazoline* dapat digambarkan sebagai berikut :

- Pada gugus utama yaitu bagian A mendorong terbentuknya ikatan molekul yang kuat ke permukaan logam dan menghasilkan susunan lapisan yang terdiri dari satu atau lebih lapisan (layer).
- Pasangan molekul tunggal pada $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{NH}_2-$ dari gugus pendant yaitu pada bagian B dapat membantu meningkatkan adsorpsi ke permukaan logam, sehingga meningkatkan kemampuan inhibisi korosi
- Rantai hidrokarbon pada bagian C menyelimuti permukaan logam sehingga permukaan logam bersifat hidrofobik.

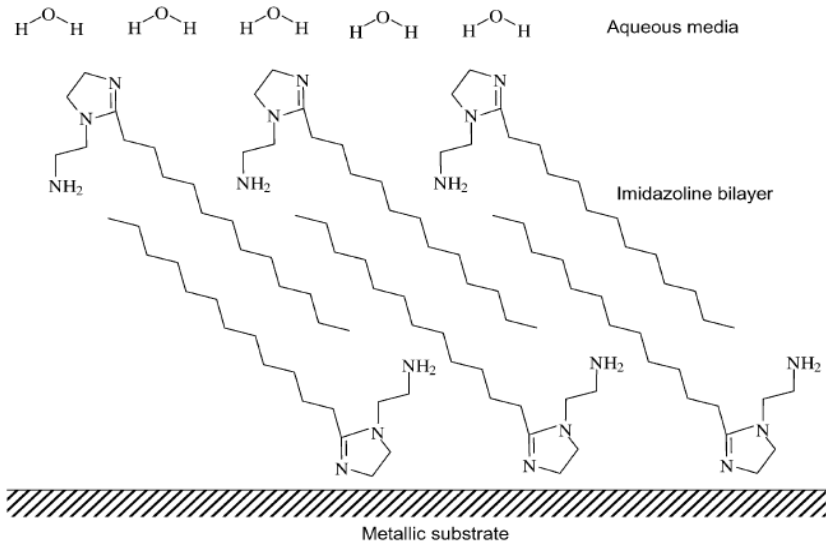


Gambar 2.13 Struktur Molekul dari (a) *Pyridine* (b) *Pyrrole* dan (c) *Imidazole* (Bhargava, 2009)

Pada gambar 2.13 adalah struktur molekul *imidazoline* pada bagian kepala (*head group*). *Imidazoline* memiliki dua atom nitrogen pada bagian kepala. Atom nitrogen yang tidak berikatan dengan hidrogen mempunyai pasangan elektron yang tidak bergabung dengan rantai aromatik pada bagian kepala *imidazoline*. Sedangkan, atom nitrogen yang berikatan dengan hidrogen juga mempunyai pasangan elektron yang bergabung dengan rantai aromatik.

Donasi elektron dari atom nitrogen pada *pyridine*, bekerja secara berikatan antara atom nitrogen dan Fe secara *chemisorption*. Sedangkan pasangan elektron pada atom nitrogen *Pyrrole*, dibutuhkan untuk stabilisasi rantai aromatik pada bagian kepala (*head group*) dari struktur *imidazoline*. (Bhargava, 2009)

Ekor hidrokarbon non polar dari molekul inhibitor ini berada secara vertikal terhadap permukaan logam seperti pada gambar 2.14. Rantai hidrokarbon molekul inhibitor ini saling menangkap membentuk lapisan seperti jaring tertutup yang akan menolak fasa cair yang disebabkan sifat dari karakter hidrofobik. (Lopez, 2004)



Gambar 2.14 Lapisan Tipis Inhibitor Imidazoline pada Permukaan Logam (Lopez, 2004)

2.11 Penelitian Sebelumnya

Menurut penelitian yang dilakukan oleh *Guoang Zhang dkk* (2007) dengan judul penelitian evaluasi efisiensi inhibitor berbasis turunan imidazoline pada larutan yang mengandung gas CO₂, inhibitor berbasis turunan imidazoline terindikasi menghambat proses reaksi pada katodik maupun anodik. Hal ini dapat disebut sebagai inhibitor campuran. Dari hasil pengujian polarisasi dan electrochemical impedance spectroscopy (EIS), dapat disimpulkan bahwa inhibitor turunan imidazoline dapat menghambat korosi pada baja API X65 dalam larutan NaCl 5% pada lingkungan gas CO₂ dan efisiensi inhibitor meningkat seiring dengan naiknya konsentrasi inhibitor.

Pada penelitian yang dilakukan oleh *Mustafa dkk* (2011) dengan judul inhibisi korosi CO₂ pada baja X52 oleh inhibitor berbasis turunan imidazoline pada tekanan gas CO₂

Laporan Tugas Akhir

Jurusan Teknik Material dan Metalurgi



tinggi di lingkungan air. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada baja X52 yang tidak diberikan inhibitor akan terbentuk produk korosi berupa FeCO_3 dan Fe_3C yang memiliki permukaan berporous dan tidak homogen. Dengan adanya pemberian inhibitor berbasis imidazoline terdapat pengurangan laju korosi sebesar 2 mm/tahun. Efisiensi inhibitor berbasis imidazoline ini bergantung pada konsentrasi inhibitor dan tekanan CO_2 . Korosi lokal menyerang permukaan logam pada tekanan CO_2 sebesar 10 sampai 60 bar, akan tetapi akan mengalami pengurangan jika ditambahkan inhibitor sebesar 10 sampai 100 ppm.

Pada penelitian yang dilakukan oleh *Liu dkk* (2009) yang berjudul tingkah laku elektrokimia dari baja Q235 pada air laut yang telah dijenuhkan dengan menggunakan gas CO_2 dengan menggunakan inhibitor korosi berbasis turunan imidazoline. Penelitian ini dilakukan pada temperatur 298, 308, 318 dan 328 °K. Hasil penelitian menunjukkan bahwa persen efisiensi inhibitor akan semakin meningkat dengan adanya peningkatan konsentrasi inhibitor dan temperatur. Inhibitor turunan imidazoline adalah salah satu jenis inhibitor campuran. Pada pengujian EIS, efisiensi inhibitor meningkat seiring dengan bertambahnya waktu sampai 120 jam akan tetapi menurun setelah 144 jam.

Pada penelitian yang dilakukan oleh *Toledo dkk* (2011) yang berjudul inhibisi pada korosi CO_2 pada baja pipeline X-120 dengan menggunakan inhibitor imidazoline yang telah dimodifikasi pada pengaruh laju alir. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode pengujian diantaranya adalah polarisasi dan EIS. Laju alir yang digunakan adalah 0 rpm, 250 rpm, 500 rpm, 1000 rpm dan 2500 rpm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa, peningkatan kecepatan putar akan mengakibatkan meningkatnya laju korosi pada larutan tanpa inhibitor. Pada larutan yang diberikan inhibitor imidazoline, laju korosi yang paling rendah ada pada sampel dengan kecepatan putar 500 rpm, akan tetapi laju korosi akan meningkat kembali seiring dengan meningkatnya kecepatan putar. Korosi yang

Laporan Tugas Akhir

Jurusan Teknik Material dan Metalurgi



dihasilkan pada larutan tanpa inhibitor adalah korosi merata (uniform). Lapisan tipis yang dibentuk oleh inhibitor, apabila mengalami kerusakan menghasilkan korosi lokal.

Pada penelitian yang dilakukan oleh *Dewi* (2014) dengan judul studi inhibitor korosi berbahan dasar imidazoline dengan menggunakan metode EIS pada baja karbon API 5L grade B dalam lingkungan NaCl 3,5 % dengan variasi konsentrasi inhibitor yaitu 0 ppm, 50 ppm, 100 ppm, 150 ppm, 200 ppm dan 250 ppm. Hasil pengujian menunjukkan bahwa ketika pada konsentrasi 100 ppm efisiensi inhibitor dan nilai R_{ct} akan berada pada nilai yang konstan yaitu 40,76 % dan 503 Ω . Sehingga, dapat disimpulkan bahwa nilai ketahanan korosi pada konsentrasi 100 ppm memiliki nilai yang paling besar.

Pada penelitian yang dilakukan oleh *Hutasoit* (2013) dengan judul studi inhibitor korosi berbahan dasar imidazoline dengan menggunakan polarisasi tafel pada baja API 5L grade B pada lingkungan NaCl 3,5 %. Hasil penelitian menunjukkan bahwa senyawa imidazoline yang teradsorpsi pada permukaan logam diselidiki dengan menggunakan FTIR berdasarkan standard ASTM E1944. Didapatkan hasil berupa jenis gugus fungsi yang teridentifikasi yaitu C=N, C-N, C-N-C, dan N-H. Dari beberapa puncak yang kuat dari inhibitor dengan panjang gelombang antara lain 3307 cm^{-1} untuk ikatan N-H (NH_2) dan 1636 cm^{-1} untuk ikatan C=N dari cincin imidazoline, terdapat puncak lemah dengan panjang gelombang 1333 cm^{-1} untuk ikatan C-N-C dari cincin imidazoline dan 1182 cm^{-1} untuk ikatan C-N dari aliphatic amines. Berdasarkan data diatas, dapat dipastikan inhibitor yang diuji merupakan inhibitor dengan bahan dasar imidazoline. Efisiensi inhibitor yang paling optimum adalah pada konsentrasi 150 ppm dengan efisiensi 64,80 %.

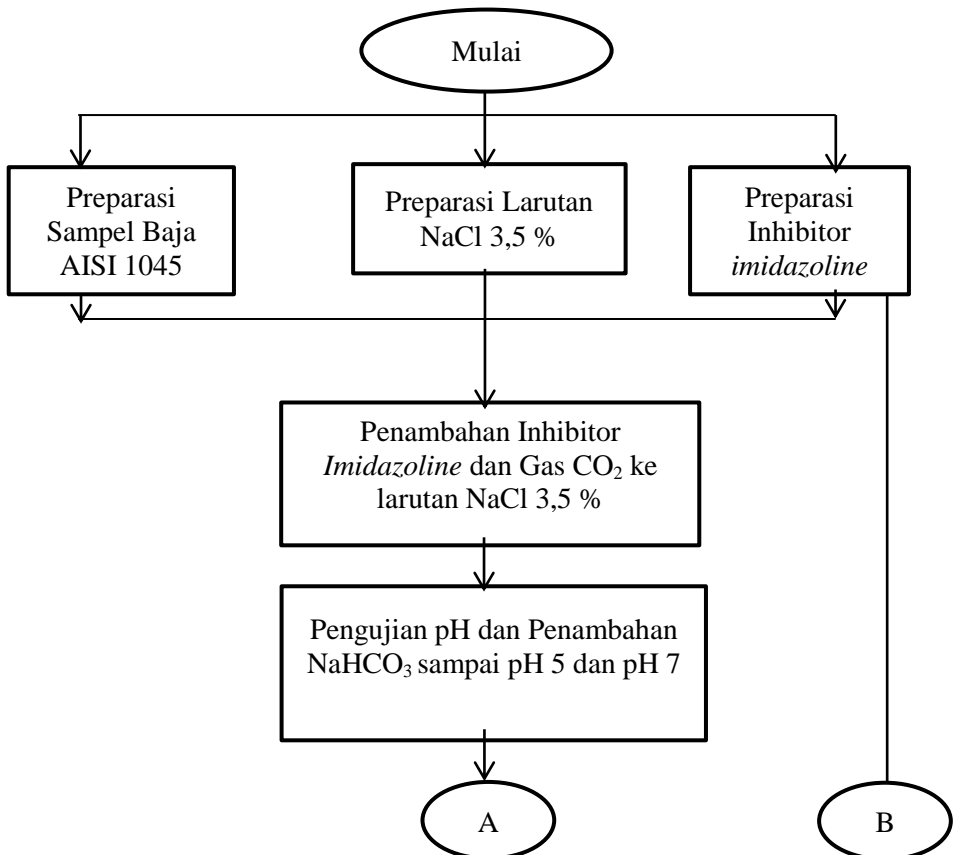


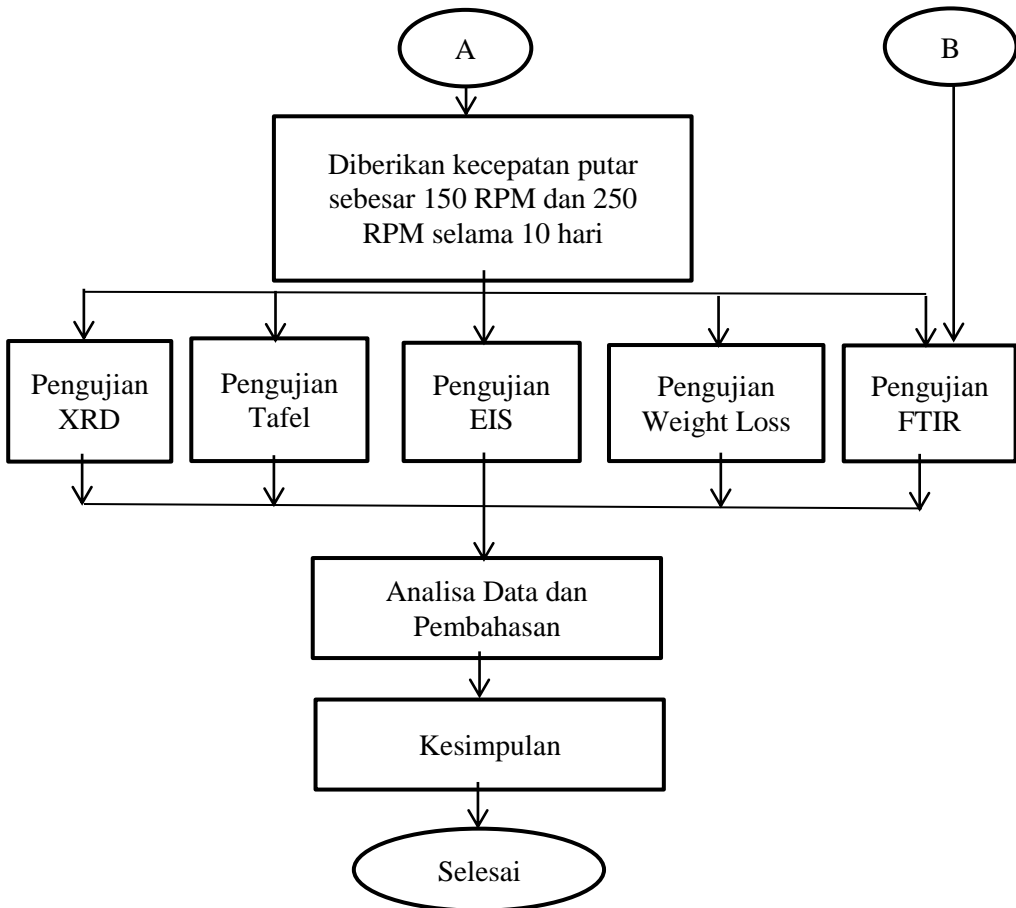
(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir





Gambar 3.1 Diagram Alir Percobaan

3.2 Metode Perancangan

Metode yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :



1. Studi Literatur

Studi literatur mengacu pada buku-buku, jurnal-jurnal dan informasi dari penelitian sebelumnya yang mempelajari mengenai inhibitor korosi, khususnya penelitian yang menggunakan inhibitor komersial berbasis *imidazoline* dengan menggunakan pH, konsentrasi inhibitor dan kecepatan putar sebagai variabel bebas. Manfaat dilakukanya penelitian ini adalah untuk mengetahui efisiensi inhibitor dan melakukan evaluasi terhadap penelitian sebelumnya.

2. Eksperimen

Metode ini dilakukan dengan pengujian sesuai dengan prosedur dan metode yang ada. Adapun pengujian yang diperlukan dalam penelitian ini adalah weight loss, EIS, Tafel, FTIR dan XRD.

3.3 Alat dan Bahan Percobaan

3.3.1 Alat Percobaan

Alat-alat yang digunakan pada percobaan ini adalah sebagai berikut :

1. pH Meter
2. Kertas amplas
3. Timbangan digital
4. Satu set peralatan *Rotating Cylinder Electrode (RCE)* pada toples kaca
5. RPM meter
6. Mikropipet 100 μl – 1000 μl
7. Gelas beaker 1000 ml
8. Gelas beaker 500 ml
9. Tabung gas CO_2
10. Selang gas CO_2
11. Teflon
12. Lem Altec
13. Plastisin



3.3.2 Bahan Percobaan

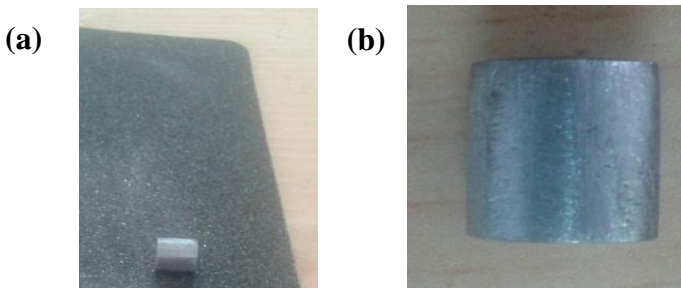
Bahan-bahan yang digunakan pada percobaan ini adalah sebagai berikut :

1. Baja AISI 1045
2. Garam NaCl
3. Aquades
4. Gas CO₂
5. Inhibitor berbasis *Imidazoline*
6. Larutan NaHCO₃

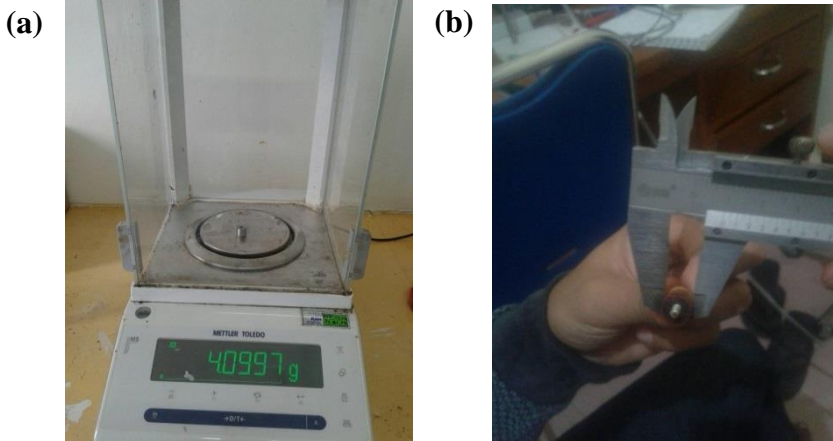
3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Preparasi Spesimen Uji

Spesimen uji yang digunakan pada percobaan ini adalah baja AISI 1045 dengan diameter sampel sebesar 1 cm dan tinggi sampel sebesar 1 cm. Sampel uji pada penelitian ini berbentuk silinder yang berlubang. Sampel dilakukan pengamplasan dengan menggunakan kertas amplas untuk menghilangkan lapisan oksida pada permukaan sampel yang akan mengganggu proses pengukuran laju korosi. Setelah diamplas, sampel dipasang pada RCE. Kemudian tutup bagian yang tidak terdapat sampel dengan menggunakan material teflon untuk menghindari kontak dengan elektrolit.



Gambar 3.2 (a) Proses Pengamplasan Sampel Uji (b) Kondisi Sampel Setelah Pengamplasan

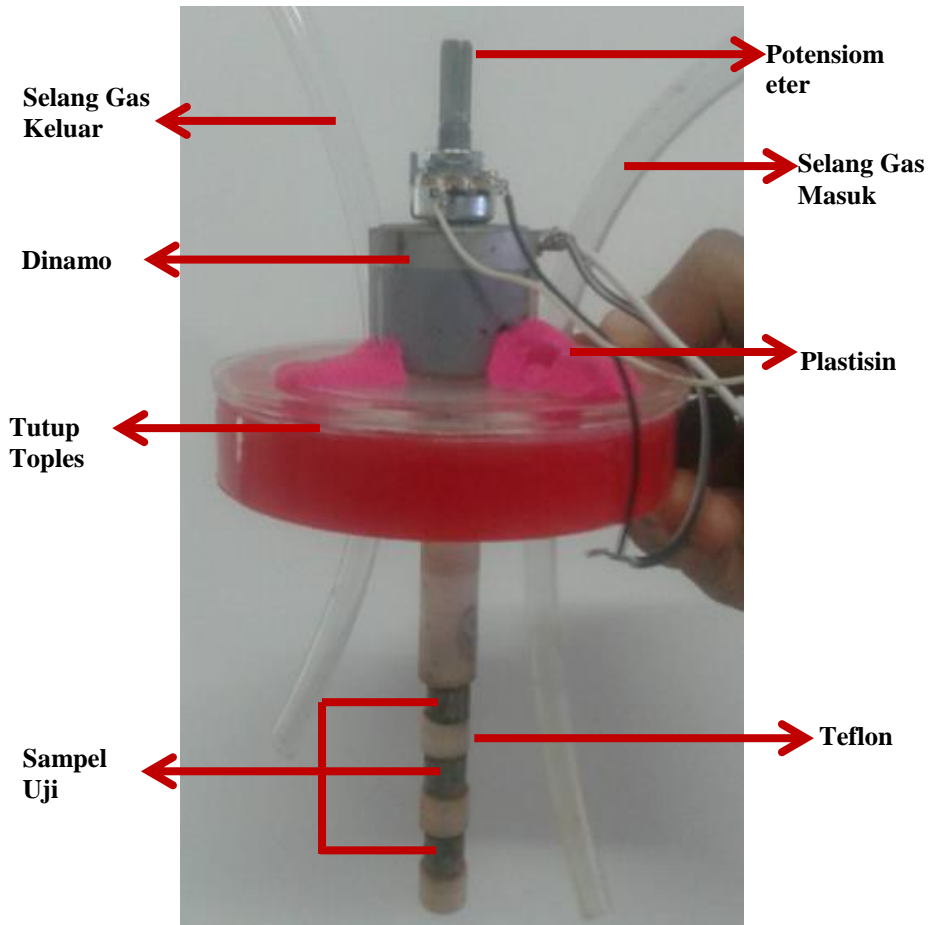


Gambar 3.3 (a) Proses Penimbangan Berat Awal sampel (b) Pengukuran Dimensi Sampel

3.4.2 Preparasi Alat

Rotating cylinder electrode (RCE) dibuat dengan menggunakan dinamo pada bagian atas tutup toples. Pengaturan kecepatan putar pada dinamo, dilakukan dengan pemberian hambatan oleh potensiometer. Sehingga, kecepatan putar menjadi konstan sesuai dengan yang telah direncanakan. Bagian yang berputar pada dinamo kemudian disambungkan dengan teflon yang pada ujungnya terpasang poros yang berulir, sehingga sampel dapat terpasang pada RCE. Material teflon digunakan untuk melindungi permukaan poros agar tidak bersentuhan dengan larutan elektrolit.

Setelah semua terpasang, kabel dari dinamo disambungkan dengan regulator tegangan untuk mengatur tegangan yang keluar dari aliran listrik PLN. Sehingga, pengujian *weight loss* dapat dilakukan selama 10 hari.



Gambar 3.4 Bentuk Alat *Rotating Cylinder Electrode* (RCE)



Gambar 3.5 Proses Pengujian Sampel

Komposisi kimia baja AISI 1045 adalah sebagai berikut

Tabel 3.1 Komposisi kimia baja AISI 1045
(Hitachi Metals Ltd)

Unsur	C	Mn	P	S
Kadar	0,43-0,55 %	0,5-0,9 %	0,04 % (Max)	0,05 % (Max)

3.4.3 Larutan NaCl 3,5 %

Pada penelitian ini, larutan elektrolit yang digunakan adalah larutan NaCl 3,5 % sebanyak 500 ml. Langkah-langkah pembuatan larutan NaCl 3,5 % 500 ml adalah sebagai berikut :

1. Timbang garam NaCl sebanyak 17,5 gram dengan menggunakan timbangan digital
2. Tuangkan garam NaCl ke dalam gelas beaker



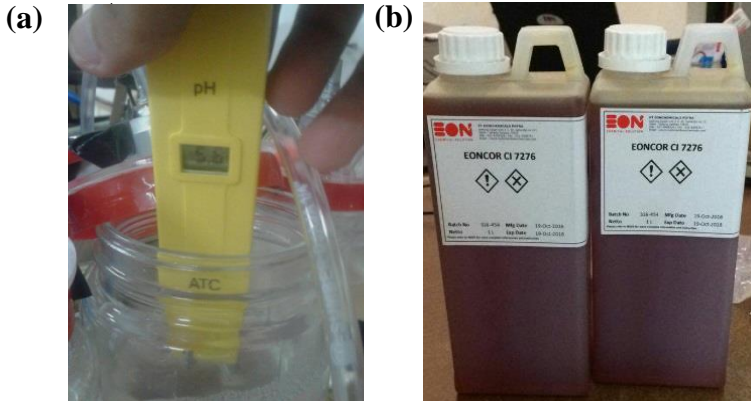
3. Isi gelas beaker dengan aquades sampai volume 500 ml
4. Aduk larutan garam NaCl agar didapatkan larutan yang homogen dan garam NaCl dapat larut dengan sempurna
5. Tambahkan aquades sampai larutan mencapai 500 ml
6. Larutan siap untuk digunakan



Gambar 3.6 Penimbangan Berat Garam NaCl

3.4.4 Penambahan Inhibitor Korosi *Imidazoline*

Penambahan inhibitor korosi berbasis *imidazoline* dilakukan pada larutan NaCl 3,5 % 500 ml dengan konsentrasi inhibitor 0 ppm, 50 ppm, 100 ppm, 150 ppm, dan 200 ppm. Sehingga, volume inhibitor korosi yang ditambahkan ke dalam larutan NaCl 3,5 % 500 ml adalah sebesar 0 ml, 0,025 ml, 0,05 ml, 0,075 ml dan 0,1 ml. Kemudian dilakukan pengadukan sampai inhibitor larut dengan sempurna.



Gambar 3.7 (a) Pengujian pH larutan dengan pH meter
(b) Inhibitor *Imidazoline*

3.5 Pengujian Pada Percobaan

3.5.1 Metode Weight Loss

Pengujian laju korosi dengan menggunakan metode weight loss dilakukan untuk mengetahui laju korosi baja AISI 1045 pada lingkungan larutan NaCl 3,5 % dengan penambahan gas CO₂ dan kecepatan putar. Spesimen baja yang berbentuk silinder dilakukan pemotongan agar mencapai luas kontak dengan elektrolit sebesar 3,14 cm². Sampel yang digunakan pada pengujian ini adalah sebanyak 60 sampel. Sampel harus terendam oleh larutan elektrolit agar mendapatkan laju korosi yang maksimal. Langkah-langkah dalam pengujian dengan metode weight loss dengan penambahan inhibitor korosi *imidazoline* adalah sebagai berikut :

1. Mempersiapkan sampel baja AISI 1045 yang telah diamplas untuk menghilangkan lapisan oksida.
2. Menimbang berat awal sampel dengan menggunakan timbangan digital
3. Merangkai sampel baja AISI 1045 dengan material teflon
4. Memasang rangkaian sampel dan teflon pada RCE



5. Mengisi toples dengan menggunakan larutan NaCl 3,5 % dan inhibitor korosi *imidazoline* kemudian ditutup
6. Menambahkan gas CO₂ dari tabung gas CO₂ dan tunggu hingga jenuh pada pH 4,8
7. Menambahkan larutan NaHCO₃ untuk meningkatkan pH larutan pada pH 5 dan pH 7
8. Menjalankan RCE sesuai dengan kecepatan yang telah direncanakan yaitu 100 RPM dan 250 RPM
9. Tutup lubang untuk penambahan larutan NaHCO₃ dengan menggunakan plastisin.
10. Menunggu perendaman sampel selama 10 hari dan kemudian dilakukan penimbangan berat akhir sampel dengan menggunakan timbangan digital

Langkah-langkah dalam pengujian dengan metode weight loss tanpa penambahan inhibitor korosi *imidazoline* adalah sebagai berikut :

1. Mempersiapkan sampel baja yang telah diampelas untuk menghilangkan lapisan oksida.
2. Menimbang berat awal sampel dengan menggunakan timbangan digital
3. Merangkai sampel baja AISI 1045 dengan material teflon
4. Memasang rangkaian sampel dan teflon pada RCE
5. Mengisi toples dengan menggunakan larutan NaCl 3,5 % kemudian ditutup
6. Menambahkan gas CO₂ dari tabung gas CO₂ dan tunggu hingga jenuh hingga mencapai pH 4,8
7. Menambahkan larutan NaHCO₃ untuk meningkatkan pH larutan pada pH 5 dan pH 7
8. Menjalankan RCE sesuai dengan kecepatan yang telah direncanakan yaitu 100 RPM dan 250 RPM
9. Tutup lubang untuk penambahan larutan NaHCO₃ dengan menggunakan plastisin.

Laporan Tugas Akhir

Jurusan Teknik Material dan Metalurgi



10. Menunggu perendaman sampel selama 10 hari dan kemudian dilakukan penimbangan berat akhir sampel dengan menggunakan timbangan digital

Tabel 3.2 Rancangan Data Hasil Uji Weight Loss

pH	Konsentrasi Inhibitor (Ppm)	Kecepatan Putar (RPM)	Berat Awal (gram)	Berat Akhir (gram)	Selisih Berat (gram)	Laju Korosi (mm/y)	Efisiensi (%)
5	0	100					
	50						
	100						
	150						
	200						
	0	250					
	50						
	100						
	150						
	200						
7	0	100					
	50						
	100						

Laporan Tugas Akhir

Jurusan Teknik Material dan Metalurgi



	150						
	200						
	0	250					
	50						
	100						
	150						
	200						

3.5.2 Pengujian Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)

Pengujian Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) dilakukan untuk mengetahui tahanan terhadap korosi yang disebabkan oleh adanya penambahan inhibitor *imidazoline*. Sampel yang digunakan dalam pengujian EIS adalah sampel yang diberikan kecepatan putar 250 RPM, pH 5, konsentrasi inhibitor 200 ppm dan sampel pada kecepatan putar 150 RPM, pH 7, konsentrasi inhibitor 100 ppm Langkah-langkah Pengujian Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) adalah sebagai berikut :

1. Pada pengujian Pengujian Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS), sampel yang digunakan sama dengan sampel pada pengujian weight loss.
2. Spesimen dilakukan pencelupan pada larutan NaCl 3,5 % ditambah gas CO₂ dan larutan NaHCO₃ agar mencapai dengan sampel sesuai dengan tabel 3.3
3. Setelah perendaman selama 10 hari, spesimen diangkat dari toples untuk dilakukan pengujian EIS



Tabel 3.3 Rancangan Data Hasil Uji EIS

pH	Konsentrasi Inhibitor (ppm)	Kecepatan Putar (RPM)	$R_s (\Omega)$	$R_p (\Omega)$	$R_p (\Omega)$	CPE		CPE	
						Y0	N	Y0	N

3.5.3 Pengujian Polarisasi (Tafel)

Pengujian polarisasi (tafel) dilakukan untuk mengetahui laju korosi sampel dengan berbagai konsentrasi inhibitor korosi berbasis *imidazoline* secara langsung. Kemudian hasil dilakukan ekstrapolasi dengan teknik tafel untuk memperoleh besaran-besaran yang berkaitan dengan korosi. Hasil yang didapat berupa potensial korosi (E_{corr}), rapat arus (I_{corr}) dan laju korosi. Sampel yang digunakan pada pengujian polarisasi ini terdapat pada tabel 3.4. Langkah-langkah dalam pengujian polarisasi (tafel) adalah sebagai berikut :

1. Siapkan larutan NaCl 3,5 % dengan penambahan inhibitor pada konsentrasi sesuai dengan rancangan tabel 3.4
2. Pasang sampel baja AISI 1045 pada RCE sebagai elektroda kerja dan tutup bagian lainnya dengan menggunakan teflon
3. Masukkan gas CO_2 pada sel polarisasi dan ditunggu sekitar 15 menit sampai larutan jenuh akan gas CO_2
4. Ukur pH larutan NaCl 3,5 % yang telah diinjeksikan gas CO_2 dengan menggunakan pH meter, sehingga menunjukkan pH 5 dan pH 7
5. Hidupkan rotator dengan kecepatan putar 250 RPM dan 150 RPM
6. Menunggu perendaman sampel selama 10 hari

Laporan Tugas Akhir

Jurusan Teknik Material dan Metalurgi



7. Melakukan pengujian polarisasi dengan menyusun rangkaian sesuai dengan standar pengujian polarisasi, yaitu specimen holder, elektroda kerja (AISI 1045), elektroda standard kalomel (Ag/AgCl) dan elektroda bantu platina pada rangkaian sel polarisasi.
8. Melakukan ekstrapolasi dengan teknik tafel untuk mendapatkan parameter yang sudah direncanakan

Tabel 3.4 Rancangan Data Hasil Uji Polarisasi Linear

pH	Konsentrasi Inhibitor (ppm)	Kecepatan Putar (RPM)	$-E_{\text{Corr}}$ (mV)	I_{Corr} ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	CR (mpy)	Efisiensi Inhibitor (%)
5	0	250				
	200					
7	0	150				
	100					



(a)



(b)

Gambar 3.8 (a) Alat Uji Polarisasi dan EIS (b) Rangkaian Uji Polarisasi dan EIS

Tabel 3.5 Parameter Pengujian Tafel

Elektroda Kerja	AISI 1045
<i>Equivalent Weight</i> (g/mol)	27,92
Densitas (g/cm ³)	7,86
Luasan Terekspos (cm ²)	2,5
<i>Counter Electrode</i>	Pt (Platina)
<i>Refference Electrode</i>	Ag/AgCl
<i>Scan Rate</i>	0,001
<i>Start Potential</i>	-0,1 Vs OCP
<i>Finish Potential</i>	+ 0,1 Vs OCP



3.5.4 Pengujian Fourier Transform Infra Red (FTIR)

Pengujian spektroskopi FTIR dilakukan untuk mengetahui gugus fungsi yang ada pada inhibitor berbasis turunan *imidazoline*. Pengujian FTIR dilakukan pada inhibitor *imidazoline* yang belum diberikan pada larutan elektrolit dan inhibitor setelah dilakukan pengujian selama, 10 hari dengan menggunakan konsentrasi inhibitor 200 ppm pada pH 7 dengan kecepatan putar 150 RPM. Sehingga, akan didapat data gugus fungsi inhibitor *imidazoline* sebelum dilakukan pengujian dan digunakan untuk melihat gugus fungsi yang terkandung dalam lapisan permukaan sampel setelah selesai pengujian.

3.5.5 Pengujian X-Ray Diffraction (XRD)

Pengujian XRD dilakukan untuk menganalisa adanya kemungkinan senyawa produk korosi maupun hasil reaksi dari pemberian inhibitor yang terbentuk pada sampel hasil pengujian. Pengujian XRD dilakukan pada sampel yang diberikan inhibitor korosi *imidazoline* pada pH 7 dan kecepatan putar 150 RPM dengan konsentrasi 200 ppm.



Gambar 3.9 Alat Uji XRD



BAB IV
ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data

4.1.1 Perhitungan Bilangan Reynold dan *Wall Shear Stress*

Perhitungan bilangan reynold dilakukan untuk mengetahui profil aliran yang terbentuk pada saat pengujian. Pada penelitian ini, sampel diberi kecepatan putar sebesar 150 RPM dan 250 RPM pada *Rotating Cylinder Electrode* (RCE). Nilai kecepatan putar tersebut dilakukan perhitungan dengan menggunakan rumus 2.23, 2.24, dan 2.25 untuk mendapatkan nilai bilangan reynold dan *wall shear stress* pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Bilangan Reynold dan Wall Shear Stress Pada Setiap Kecepatan Putar

No	Kecepatan Putar (RPM)	Kecepatan Putar (Cm/s)	Bilangan Reynold	<i>Wall Shear Stress</i>
1.	150	7,85	760,82	0,6791
2.	250	13,083	1268	1,618

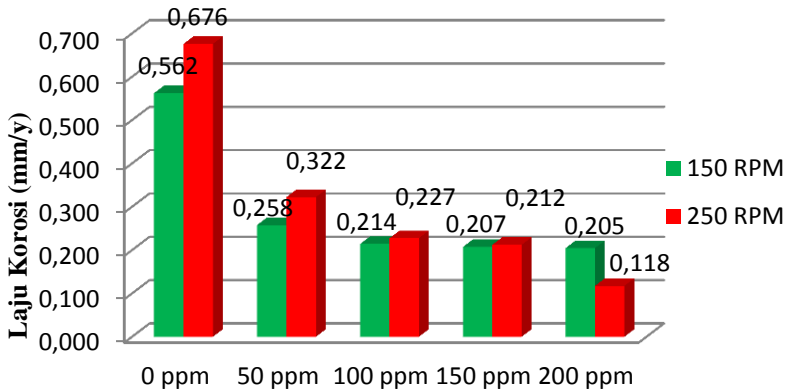
Dari hasil perhitungan, didapatkan hasil bahwa bentuk aliran yang terjadi pada percobaan dengan menggunakan RCE adalah aliran turbulen. Hal ini dikarenakan nilai bilangan reynold melebihi angka 200.

Dari hasil perhitungan pada tabel 4.1, adanya penambahan kecepatan putar meningkatkan nilai *wall shear stress*. Sehingga, naiknya kecepatan putar semakin meningkatkan laju penggerusan produk korosi maupun lapisan tipis akibat penambahan inhibitor korosi yang berakibat meningkatnya laju korosi. (PINE Reasearch Instrument, 2006).



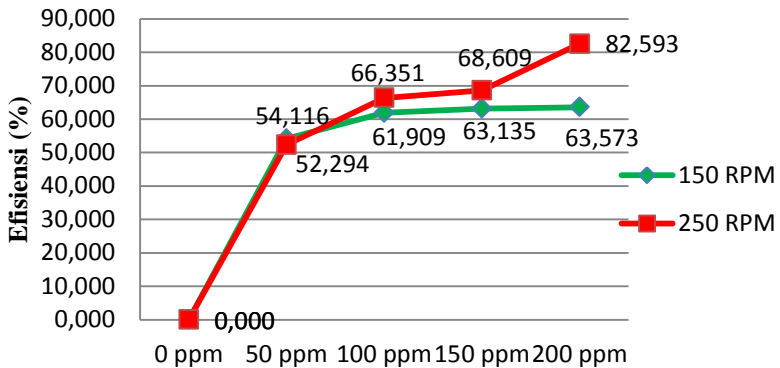
4.1.2 Pengujian Pengurangan Berat (*Weight Loss*)

Pengujian *weight loss* dilakukan selama sepuluh hari dengan variabel bebas kecepatan putar, pH larutan dan konsentrasi inhibitor. Berikut ini adalah hasil pengujian *weight loss* selama sepuluh hari :



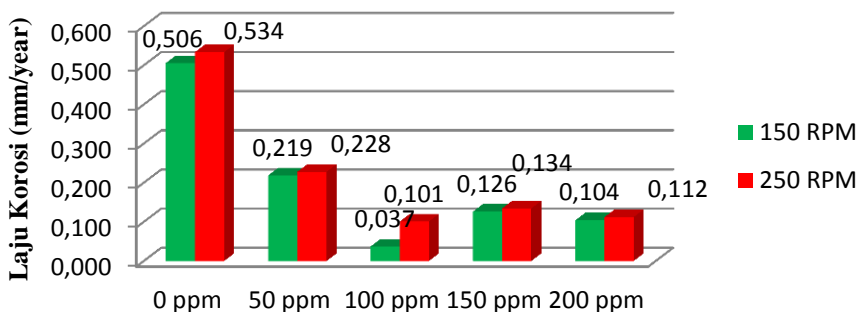
Gambar 4.1 Pengaruh Konsentrasi Inhibitor dan Kecepatan Putar terhadap laju korosi baja AISI 1045 pada pH 5

Pada gambar 4.1 yang merupakan pengaruh konsentrasi inhibitor terhadap laju korosi baja AISI 1045 pada pH 5 yang telah diberi kecepatan putar sebesar 150 RPM dan 250 RPM. Dari penelitian didapatkan hasil bahwa semakin meningkatnya konsentrasi inhibitor, menurunkan laju korosi baja AISI 1045. Nilai laju korosi yang terendah adalah pada pemberian konsentrasi inhibitor sebesar 200 ppm pada kecepatan putar 250 RPM yaitu sebesar 0,118 mm/year.



Gambar 4.2 Pengaruh Konsentrasi dan Kecepatan Putar terhadap efisiensi inhibitor korosi pada pH 5

Pada gambar 4.2 yang merupakan pengaruh konsentrasi dan kecepatan putar terhadap efisiensi inhibitor korosi pada pH 5. Dari hasil pada gambar tersebut, semakin meningkatnya pemberian konsentrasi inhibitor meningkatkan efisiensi inhibitor korosi *imidazoline*. Nilai efisiensi tertinggi terdapat pada sampel baja AISI 1045 dengan konsentrasi 200 ppm sebesar 82,59 %.



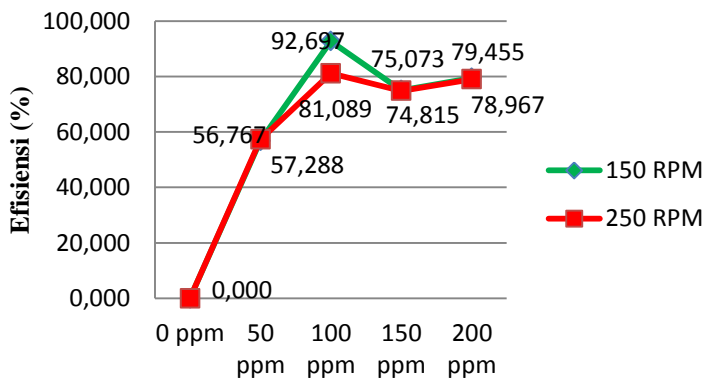
Gambar 4.3 Pengaruh Konsentrasi Inhibitor dan Kecepatan Putar terhadap laju korosi baja AISI 1045 pada pH 7

Laporan Tugas Akhir

Jurusan Teknik Material dan Metalurgi

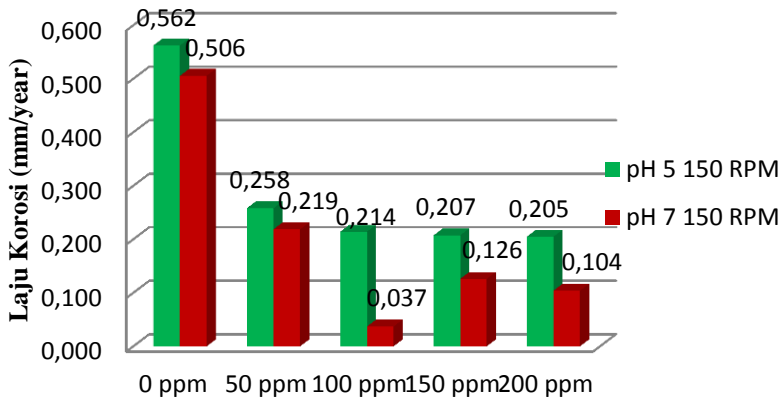


Dari gambar 4.3, didapatkan hasil bahwa semakin meningkatnya pemberian inhibitor korosi, menurunkan laju korosi pada sampel baja AISI 1045 sampai konsentrasi 100 ppm. Pada konsentrasi 150 ppm laju korosi meningkat, kemudian menurun kembali pada konsentrasi 200 ppm. Nilai laju korosi yang terendah terdapat pada sampel baja AISI 1045 dengan konsentrasi inhibitor 100 ppm dan kecepatan putar 150 RPM yaitu sebesar 0,037 mm/year.



Gambar 4.4 Pengaruh Konsentrasi dan Kecepatan Putar terhadap efisiensi inhibitor korosi pada pH 7

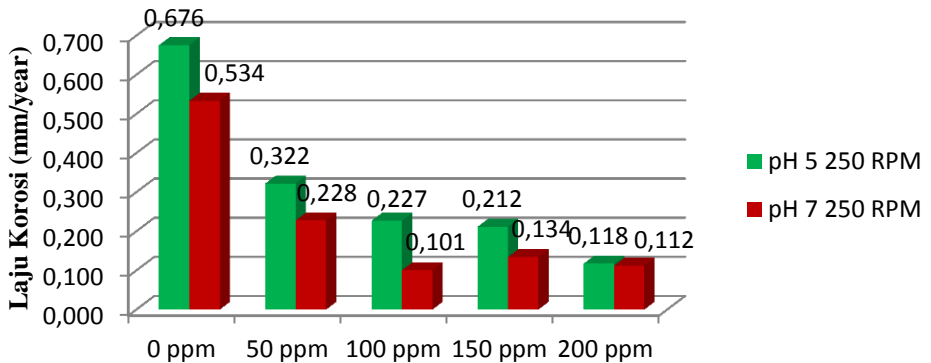
Gambar 4.4 adalah pengaruh konsentrasi dan kecepatan putar terhadap efisiensi inhibitor korosi pada pH 7. Dari penelitian, didapatkan hasil bahwa semakin meningkatnya pemberian konsentrasi inhibitor meningkatkan efisiensi inhibitor korosi *imidazoline*. Pada konsentrasi 150 ppm, mengalami penurunan efisiensi, kemudian terjadi peningkatan efisiensi pada konsentrasi 150 ppm dan menurun kembali pada konsentrasi 200 ppm. Nilai efisiensi tertinggi adalah pada sampel yang diberikan kecepatan putar 150 RPM dan konsentrasi inhibitor 100 ppm sebesar 92,697 %.



Gambar 4.5 Pengaruh pH terhadap laju korosi baja AISI 1045 dengan kecepatan putar 150 RPM dan berbagai konsentrasi inhibitor

Gambar 4.5 merupakan pengaruh pH terhadap laju korosi baja AISI 1045 dengan kecepatan putar 150 RPM dengan berbagai konsentrasi inhibitor. Dari hasil penelitian, didapatkan hasil bahwa semakin meningkat nilai pH, menurunkan laju korosi pada sampel baja AISI 1045. Nilai laju korosi terendah adalah sampel pada konsentrasi 100 ppm pada pH 7 sebesar 0,037 mm/year.

Dari hasil pengujian pada gambar 4.6, didapatkan hasil bahwa semakin meningkat nilai pH, menurunkan laju korosi pada sampel baja AISI 1045 sampai konsentrasi 100 ppm. Pada konsentrasi 150 ppm laju korosi meningkat, kemudian menurun kembali pada konsentrasi 200 ppm.. Nilai laju korosi terendah adalah sampel pada konsentrasi 100 ppm pada pH 7 sebesar 0,101 mm/year.

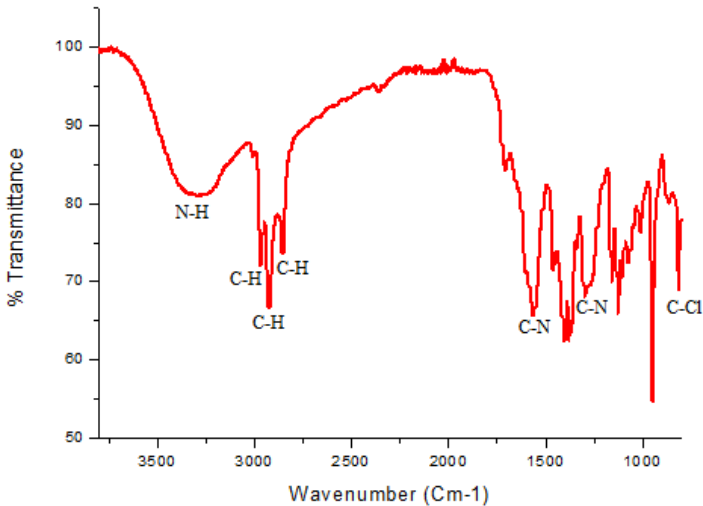


Gambar 4.6 Pengaruh pH terhadap laju korosi baja AISI 1045 dengan kecepatan putar 250 RPM dan berbagai konsentrasi inhibitor

4.1.3 Pengujian FTIR

Pengujian FTIR dilakukan dengan menggunakan dua sampel. Sampel pertama adalah bahan inhibitor korosi *imidazoline* dan sampel kedua yaitu sampel baja yang telah dilakukan pencelupan selama sepuluh hari dengan pemberian inhibitor korosi *imidazoline* sebesar 200 ppm pada pH 7 dengan kecepatan putar sebesar 150 RPM.

Dari hasil pengujian FTIR pada bahan inhibitor korosi, terdapat berbagai ikatan yang terkandung yang ditunjukkan dalam bentuk *peak*.



Gambar 4.7 Hasil FTIR pada Inhibitor *Imidazoline*

Tabel 4.2 Hasil Analisa FTIR Inhibitor *Imidazoline*

Wavenumber (cm ⁻¹)	Range Wavenumber (cm ⁻¹)	Ikatan	Gugus Fungsi
3290,07	3400-3250	N-H	1°, 2° Amines, amides
2966	3000-2850	C-H	Alkanes
2924,65	3000-2850	C-H	Alkanes
2854,65	3000-2850	C-H	Alkanes
1561	1660-1580	C=N	Aromatic Ring
1404,59	1500-1400	C stretch (in rings)	Aromatics
1299,11	1335-1250	C-N	Aromatic Amines
1160,16	1250-1020	C-N	Aliphatic Amines
1128,88	1250-1020	C-N	Aliphatic Amines
1107,01	1250-1020	C-N	Aliphatic Amines
1072,64	1250-1020	C-N	Aliphatic Amines
951,58	950-910	O-H	Carboxylic Acid

Laporan Tugas Akhir

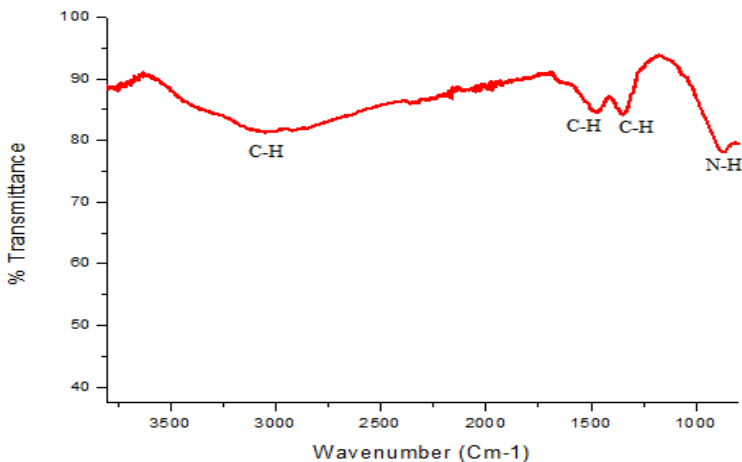
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi



816,69	850-550	C-Cl	Alkyl Halides
650,96	850-550	C-Cl	Alkyl Halides
650,96	690-515	C-Br	Alkyl Halides
614,81	690-515	C-Br	Alkyl Halides

Dari hasil analisa FTIR pada tabel 4.2, terdapat beberapa gugus fungsi yang sesuai dengan struktur molekul dari inhibitor *imidazoline* pada gambar 2.7. Gugus fungsi tersebut adalah *amine* (N-H), *aromatic rings* (C=N), *aromatics* (C stretch in ring), dan *aromatic amines* (C-N).

Kemudian untuk hasil pengujian FTIR pada sampel baja AISI 1045 yang telah direndam selama sepuluh hari dengan pemberian konsentrasi inhibitor 200 ppm dan kecepatan putar 150 RPM pada pH 7 adalah pada gambar 4.8.

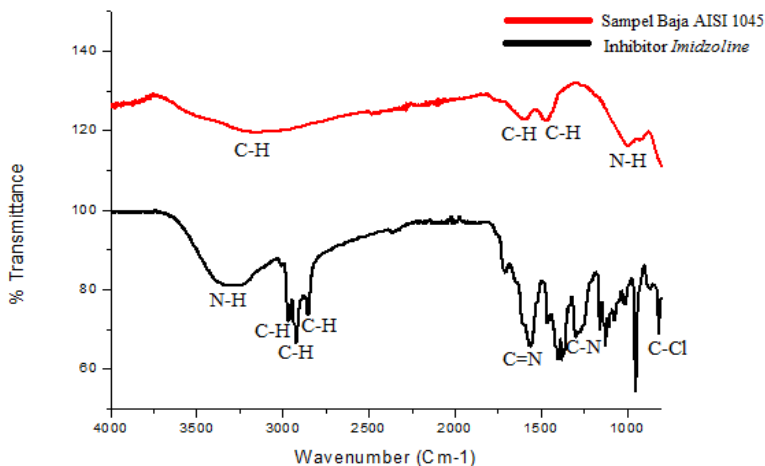


Gambar 4.8 Hasil Pengujian FTIR pada sampel baja AISI 1045 yang telah direndam selama sepuluh hari dengan konsentrasi inhibitor 200 ppm, kecepatan putar 150 RPM dan pH 7



Tabel 4.3 Hasil Analisa Pengujian FTIR pada sampel Baja AISI 1045

Wavenumber (cm ⁻¹)	Range Wavenumber (cm ⁻¹)	Ikatan	Gugus Fungsi
3046,4	3100-3000	C-H	Aromatics
1466,39	1470-1450	C-H	Alkanes
1350,85	1370-1350	C-H	Alkanes
873,15	910-665	N-H	1°,2° Amines



Gambar 4.9 Perbandingan Hasil FTIR Bahan Inhibitor dan Sampel Baja AISI 1045

Dari hasil analisa FTIR pada tabel 4.2, 4.3 dan gambar 4.9, terdapat beberapa gugus fungsi yang sama dengan hasil pengujian FTIR pada inhibitor *imidazoline*. Gugus fungsi tersebut adalah 1°,2° Amines (N-H) dan Alkanes (C-H).

Pada penelitian yang dilakukan oleh Hutasoit (2013), terdapat gugus fungsi N-H pada sampel uji. Dengan adanya gugus fungsi *amine* pada permukaan baja, menunjukkan bahwa

Laporan Tugas Akhir

Jurusan Teknik Material dan Metalurgi



inhibitor korosi *imidazoline* bekerja melindungi permukaan logam dari serangan korosi.

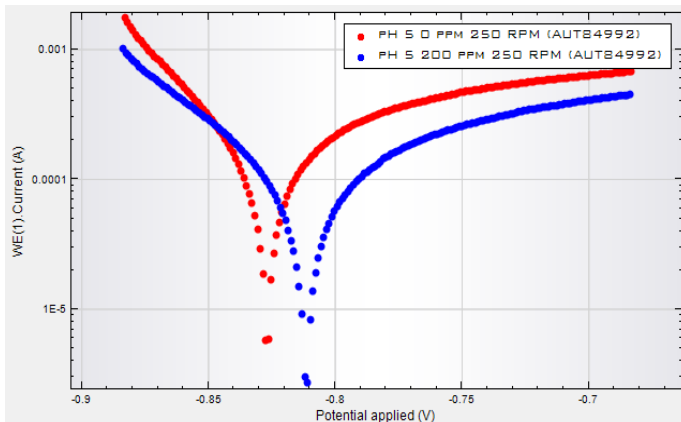
4.1.4 Pengujian Polarisasi (Tafel)

Pengujian polarisasi dilakukan pada sampel yang mempunyai laju korosi terendah pada setiap pH. Terdapat empat sampel untuk dilakukan pengujian polarisasi. Pada pH 5 digunakan sampel dengan konsentrasi inhibitor 0 ppm dan 200 ppm pada kecepatan putar 250 RPM. Pada pH 7 digunakan sampel dengan konsentrasi inhibitor 0 ppm dan 100 ppm pada kecepatan putar 150 RPM. Hasil pengujian polarisasi ditunjukkan pada tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Polarisasi

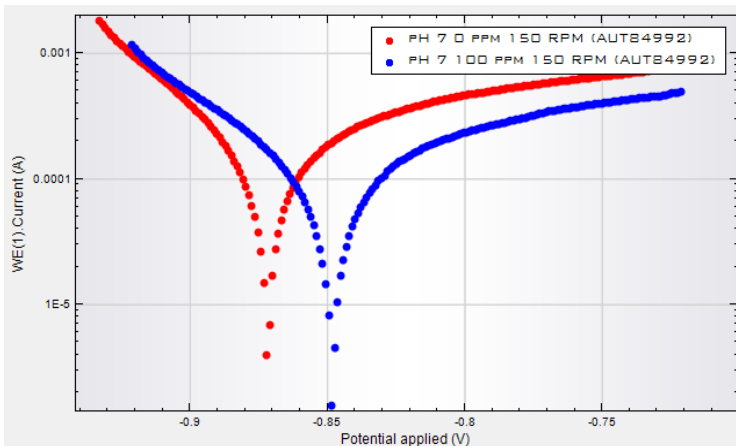
pH	Konsentrasi Inhibitor (ppm)	Kecepatan Putar (RPM)	$-E_{\text{Corr}}$ (mV)	I_{Corr} ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	CR (mm/year)	Efisiensi Inhibitor (%)
5	0	250	826,82	56,811	0,660	-
	200		811,98	20,196	0,234	64,45
7	0	150	871,940	36,592	0,425	-
	100		848,390	9,3936	0,109	74,3295

Pada tabel 4.4, didapatkan hasil pengujian polarisasi pada empat sampel dengan berbagai parameter yang didapat dari hasil pengujian polarisasi, yaitu E_{Corr} , I_{Corr} , dan laju korosi. Dari hasil pengujian, didapatkan hasil bahwa semakin meningkatnya pH menurunkan laju korosi sampel baja AISI 1045.



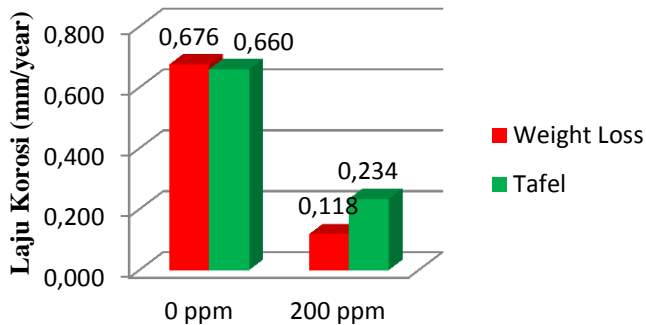
Gambar 4.10 Perbandingan Hasil Pengujian Polarisasi Pada Sampel dengan pH 5

Pada gambar 4.10 menunjukkan bahwa dengan bertambahnya konsentrasi inhibitor, maka menggeser kurva tafel kearah bawah. Bergesernya kurva tafel dengan pemberian inhibitor korosi kearah bawah menunjukkan menurunnya nilai I_{Corr} sehingga laju korosi menurun. Bergesernya kurva tafel kearah kanan setelah diberikan inhibitor korosi menunjukkan reaksi elektrokimia yang terjadi antara larutan elektrolit dan sampel uji menjadi lebih anodik. Artinya reaksi pada sampel uji lebih dominan bila dibandingkan dengan reaksi pada larutan.

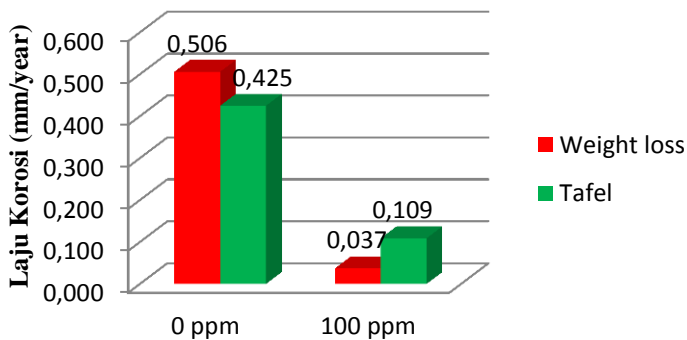


Gambar 4.11 Perbandingan Hasil Pengujian Polarisasi Pada Sampel dengan pH 7

Pada gambar 4.11 menunjukkan bahwa dengan bertambahnya konsentrasi inhibitor, maka menggeser kurva tafel ke arah bawah. Bergesernya kurva tafel dengan pemberian inhibitor korosi ke arah bawah menunjukkan menurunnya nilai I_{Corr} sehingga laju korosi menurun. Bergesernya kurva tafel ke arah kanan setelah diberikan inhibitor korosi menunjukkan reaksi elektrokimia yang terjadi antara larutan elektrolit dan sampel uji menjadi lebih anodik. Artinya reaksi pada sampel uji lebih dominan bila dibandingkan dengan reaksi pada larutan.



Gambar 4.12 Perbandingan Hasil Pengujian dengan menggunakan metode Polarisasi dan Weight loss Pada Sampel dengan perbedaan konsentrasi inhibitor pada pH 5



Gambar 4.13 Perbandingan Hasil Pengujian dengan menggunakan metode Polarisasi dan Weight loss Pada Sampel dengan perbedaan konsentrasi inhibitor pada pH 7

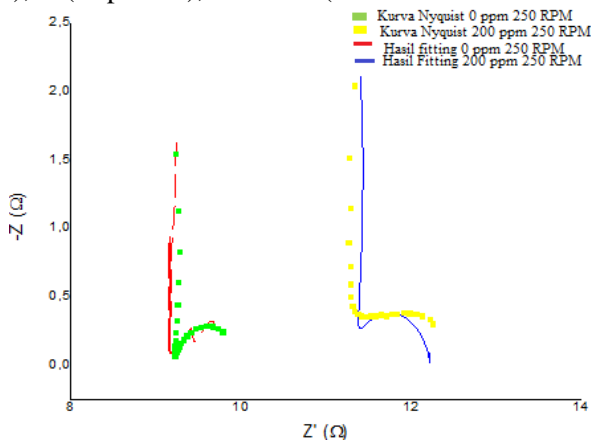


Dari gambar 4.12 dan 4.13 didapatkan hasil dengan pemberian inhibitor korosi *imidazoline*, baik pada pengujian *weight loss* maupun polarisasi, mengurangi laju korosi pada sampel uji baja AISI 1045.

4.1.5 Pengujian Electro Impedance Spectroscopy (EIS)

Pengujian Electro Impedance Spectroscopy (EIS) dilakukan pada sampel pH 5 kecepatan putar 250 RPM dengan konsentrasi inhibitor 0 ppm dan 200 ppm. Kemudian pada sampel pH 7 diberikan kecepatan putar 150 RPM dengan konsentrasi inhibitor 0 ppm dan 100 ppm.

Pengujian EIS dilakukan untuk mengetahui mekanisme inhibisi dari inhibitor korosi *imidazoline*. Hasil dari pengujian EIS adalah dalam bentuk kurva Nyquist. Setelah didapatkan kurva Nyquist, kemudian dilakukan proses *fitting* untuk menghasilkan *equivalent circuit*, pada software NOVA. Kemudian dihasilkan parameter-parameter elektrokimia berupa R (Resistor), C (Capasitor), dan CPE (*Constant Phase Element*).



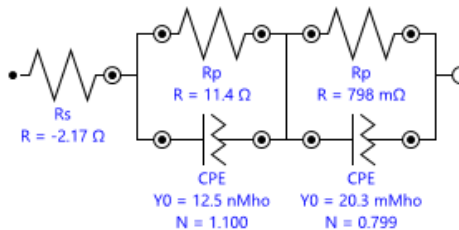
Gambar 4.14 Kurva Nyquist dan fitting pada sampel pH 5, kecepatan putar 250 RPM dengan konsentrasi inhibitor 0 ppm dan 200 ppm

Laporan Tugas Akhir

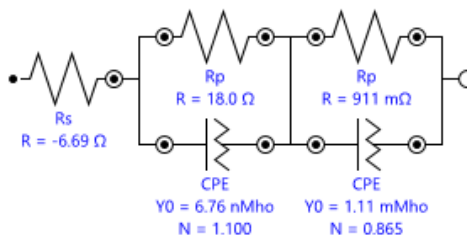
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi



(a)



(b)



Gambar 4.15 Hasil Fitting Kurva Nyquist pada pH 5, 250 RPM dan konsentrasi (a) 0 ppm dan (b) 200 ppm

Dari hasil *fitting* pada gambar 4.15, didapatkan beberapa parameter-parameter pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Data *equivalent circuit* pada sampel pH 5

pH	Konsentrasi Inhibitor (ppm)	Kecepatan Putar (RPM)	R_S (Ω)	R_P (Ω)	R_P (Ω)	CPE		CPE	
						Y0	N	Y0	N
5	0	250	-18,5	11,4	0,79	12,5 nMho	1,1	20,3 mMho	0,8
	200		-12,9	18,0	0,91	6,76 nMho	1,1	1,1 mMho	0,86

Pada gambar 4.14, adanya peningkatan diameter dari kurva Nyquist dengan penambahan konsentrasi inhibitor dari 0

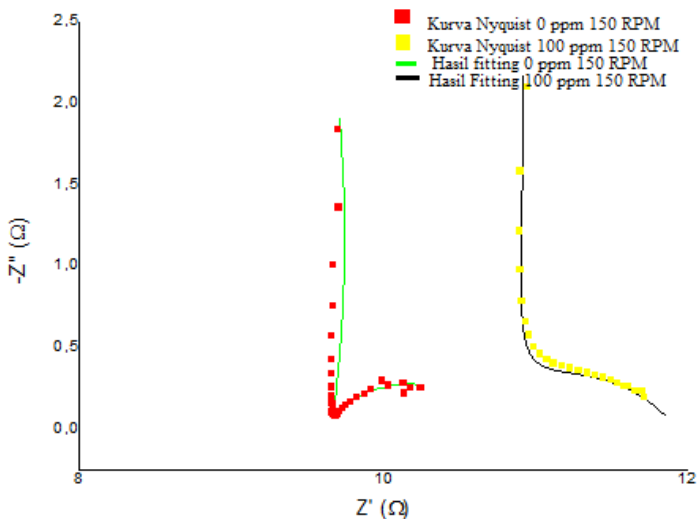
Laporan Tugas Akhir

Jurusan Teknik Material dan Metalurgi



ppm menjadi 200 ppm. Menurut (Zhang, Guoan. 2007), peningkatan diameter kurva Nyquist menandakan adanya peningkatan efisiensi inhibitor dengan adanya penambahan konsentrasi.

Dari tabel 4.5 dapat diketahui bahwa nilai tahanan larutan (R_s) pada larutan pH 5 mengalami peningkatan dari $-18,5 \Omega$ menjadi $-12,9 \Omega$ dengan adanya penambahan inhibitor sebesar 200 ppm. Kemudian, nilai tahanan polarisasi (R_p) mengalami peningkatan dengan adanya penambahan inhibitor sebesar 200 ppm. Nilai R_p sebanding dengan nilai tahanan transfer muatan (R_{ct}). Tahanan transfer muatan (R_{ct}) tersebut mewakili adanya perpindahan muatan pada antar muka antara logam dan larutan. Nilai kapasitansi *double layer* (C_{dl}) pada rangkaian muncul sebagai CPE yang disebabkan karena permukaan yang tidak rata. (Toledo. 2011). Dari hasil nilai CPE menunjukkan adanya pengurangan nilai dengan adanya penambahan inhibitor korosi. Hal ini menunjukkan bahwa adanya lapisan pasif yang terbentuk pada permukaan logam dan memindahkan elektrolit yang menempel pada permukaan logam. (Feng, Lijuan. 2011).

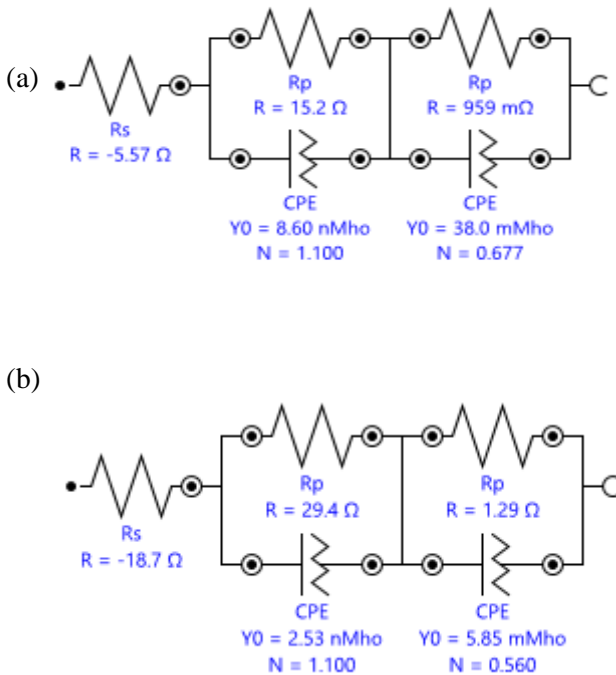


Laporan Tugas Akhir

Jurusan Teknik Material dan Metalurgi



Gambar 4.16 Kurva Nyquist dan fitting pada sampel pH 7, kecepatan putar 150 RPM dengan konsentrasi inhibitor 0 dan 200 ppm



Gambar 4.17 Hasil Fitting Kurva Nyquist pada pH 7, kecepatan putar 150 RPM dan konsentrasi (a) 0 ppm dan (b) 200 ppm

Dari hasil *fitting* pada gambar 4.17, didapatkan beberapa parameter-parameter pada tabel 4.6.

Laporan Tugas Akhir

Jurusan Teknik Material dan Metalurgi



Tabel 4.6 Data *equivalent circuit* pada sampel pH 7

pH	Konsentrasi Inhibitor (ppm)	Kecepatan Putar (RPM)	R_S (Ω)	R_P (Ω)	R_P (Ω)	CPE		CPE	
						Y0	N	Y0	N
7	0	150	-5,57	15,2	0,96	8,6 nMho	1,1	38 mMho	0,68
	100		-18,7	29,4	1,29	2,53 nMho	1,1	5,85 mMho	0,56

Pada gambar 4.16, adanya peningkatan diameter dari kurva Nyquist dengan penambahan konsentrasi inhibitor dari 0 ppm menjadi 100 ppm. Menurut (Zhang, Guoan. 2007), peningkatan diameter kurva Nyquist menandakan adanya peningkatan efisiensi inhibitor dengan adanya penambahan konsentrasi.

Pada tabel 4.6, diketahui bahwa nilai tahanan larutan (R_S) pada larutan pH 7 mengalami penurunan dari $-5,57 \Omega$ menjadi $-18,7 \Omega$ adanya penambahan inhibitor sebesar 100 ppm. Nilai tahanan polarisasi (R_P) mengalami kenaikan dengan adanya penambahan inhibitor sebesar 100 ppm. Nilai CPE juga menunjukkan adanya pengurangan nilai dengan adanya penambahan inhibitor korosi. Hal ini menunjukkan bahwa adanya lapisan pasif yang terbentuk pada permukaan logam dan memindahkan elektrolit yang menempel pada permukaan logam. (Feng, Lijuan. 2011).

4.1.6 Perhitungan Adsorpsi Isoterm

Perhitungan adsorpsi isoterm dilakukan untuk mengetahui interaksi antara inhibitor korosi dan permukaan baja. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan teori adsorpsi isoterm Langmuir. Dari hasil perhitungan adsorpsi isoterm Langmuir dapat diketahui jenis adsorpsi yang terdapat pada permukaan baja secara, yaitu *chemisorption* atau *physisorption*. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan rumus (2.27) (2.28)

Laporan Tugas Akhir

Jurusan Teknik Material dan Metalurgi



dan (2.29). Sehingga didapatkan nilai energi bebas adsorpsi (ΔG_{ads}).

Perhitungan dilakukan dengan menggunakan hasil pengujian polarisasi pada tabel 4.4 sebanyak empat sampel uji.

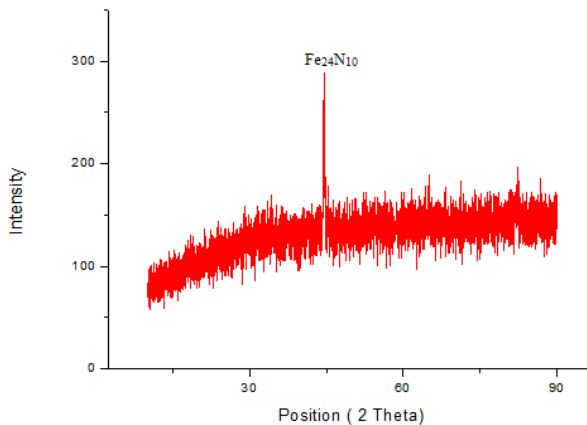
Tabel 4.7 Energi Bebas Adsorpsi Pada Inhibitor Imidazoline

pH	Konsentrasi Inhibitor (ppm)	Kecepatan Putar (RPM)	Surface Coverage (θ)	K_{ads}	ΔG_{ads} (Kj/mol)
5	0	250	0	0	0
	200		0,6445	0,009065	-1,70205
7	0	150	0	0	0
	100		0,743295	0,02895	1,175306

Dari tabel 4.7 didapatkan nilai energi bebas adsorpsi pada pH 5 konsentrasi 200 ppm dengan kecepatan putar sebesar 250 RPM adalah -1,70205 Kj/mol dan nilai energi bebas adsorpsi pada pH 7 konsentrasi 100 ppm dengan kecepatan putar sebesar 150 RPM adalah 1,175306 Kj/mol. Menurut (Zhang, Xueyuan. 2000), jika nilai ΔG lebih positif dari -20 kj/mol maka proses adsorpsi nya adalah fisisorpsi.

4.1.8 Pengujian X-Ray Diffraction (XRD)

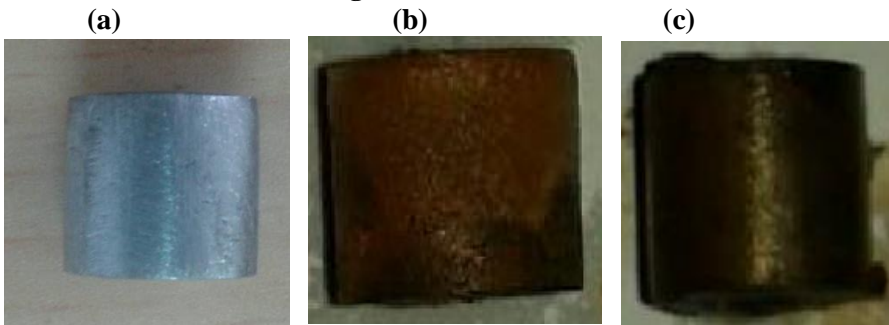
Pengujian XRD dilakukan pada sampel pH 7 dengan kecepatan putar sebesar 150 RPM dan konsentrasi inhibitor korosi 200 ppm. Pengujian XRD dilakukan untuk mengetahui senyawa atau unsur apa yang terbentuk pada permukaan sampel setelah dilakukan perendaman selama sepuluh hari. Hasil XRD pada sampel dilakukan pencocokan berdasarkan *peak* tertinggi yang muncul.



Gambar 4.18 Hasil Pengujian XRD

Dari hasil pengujian XRD, posisi puncak peak adalah senyawa $\text{Fe}_{24}\text{N}_{10}$ yang bersesuaian dengan ICDD 01-073-2103

4.1.7 Hasil Pengamatan Visual



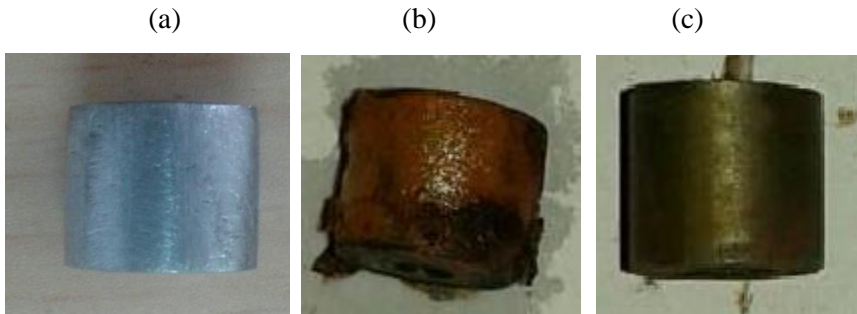
Gambar 4.19 Pengamatan Visual pada Sampel baja AISI 1045 dengan Perlakuan (a) Sebelum dilakukan pencelupan (b) Pencelupan dengan pH 5 0 ppm 250 RPM dan (c) Pencelupan dengan pH 5 200 ppm 250 RPM

Laporan Tugas Akhir

Jurusan Teknik Material dan Metalurgi



Dari hasil pengamatan pada gambar 4.19 pada sampel (a) tampak terlihat bersih dengan tidak adanya produk korosi yang menempel pada sampel. Pada sampel (b) yang telah dilakukan perendaman selama sepuluh hari dengan pH 5, kecepatan putar 250 RPM dan tanpa inhibitor, tampak produk korosi berwarna coklat. Kemudian pada sampel (c) yang telah dilakukan perendaman selama sepuluh hari dengan pH 5, kecepatan putar 250 RPM dan konsentrasi inhibitor 200 ppm, tampak terbentuk lapisan berwarna kehitaman. Lapisan berwarna kehitaman ini diduga adalah senyawa $\text{Fe}_{24}\text{N}_{10}$ yang terdapat pada permukaan sampel.



Gambar 4.20 Pengamatan Visual pada Sampel baja AISI 1045 dengan Perlakuan (a) Sebelum dilakukan pencelupan (b) Pencelupan dengan pH 7 0 ppm 150 RPM dan (c) Pencelupan dengan pH 7 200 ppm 150 RPM

Dari hasil pengamatan pada gambar 4.20 pada sampel (a) tampak terlihat bersih dengan tidak adanya produk korosi yang menempel pada sampel. Pada sampel (b) yang telah dilakukan perendaman selama sepuluh hari dengan pH 7, kecepatan putar 150 RPM dan tanpa inhibitor, tampak produk korosi berwarna coklat. Kemudian pada sampel (c) yang telah dilakukan perendaman selama sepuluh hari dengan pH 7, kecepatan putar 150 RPM dan konsentrasi inhibitor 200 ppm, tampak terbentuk



lapisan berwarna coklat kehitaman. Lapisan berwarna coklat kehitaman ini diduga adalah senyawa $\text{Fe}_{24}\text{N}_{10}$ yang terdapat pada permukaan sampel.

4.2 Pembahasan

Perhitungan bilangan reynold dilakukan untuk mengetahui profil aliran yang terbentuk pada saat pengujian. Pada penelitian ini, sampel diberi kecepatan putar sebesar 150 RPM dan 250 RPM pada *Rotating Cylinder Electrode* (RCE). Didapatkan nilai bilangan reynold pada sampel dengan kecepatan putar 150 RPM adalah 760,82 dan pada kecepatan putar 250 RPM adalah 1268. Untuk nilai *wall shear stress* pada kecepatan putar 150 RPM, didapatkan nilai 0,6791 dan pada kecepatan putar 250 RPM adalah 1,618. Dari hasil pada tabel 4.1 tersebut, didapatkan hasil bahwa bentuk aliran yang terjadi pada percobaan dengan menggunakan RCE adalah aliran turbulen. Hal ini dikarenakan nilai bilangan reynold melebihi angka 200. Sehingga, aliran fluida, meningkatkan efek penggerusan lapisan produk korosi maupun lapisan yang terbentuk akibat penambahan inhibitor korosi.

Untuk mengetahui pengaruh dari pemberian konsentrasi inhibitor *imidazoline*, kecepatan putar dan pH, maka dilakukan uji *weight loss* berdasarkan pengurangan berat awal dan akhir. Dari hasil pengujian didapatkan laju korosi terendah pada sampel dengan pH 5 adalah pada konsentrasi 200 ppm dan kecepatan putar 250 RPM dengan nilai laju korosi sebesar 0,118 mm/year dan efisiensi inhibitor sebesar 82,59 %. Kemudian pada sampel pH 7 adalah pada konsentrasi 100 ppm dengan kecepatan putar sebesar 150 RPM dengan nilai laju korosi sebesar 0,037 mm/year dan efisiensi inhibitor sebesar 92,697 %. Dari hasil pada gambar 4.1, 4.3, 4.5, dan 4.6, menunjukkan bahwa dengan adanya penambahan inhibitor korosi *imidazoline*, menurunkan laju korosi baja AISI 1045, akan tetapi pada gambar 4.3, inhibitor korosi menurunkan laju korosi pada sampel baja sampai konsentrasi 100 ppm. Pada konsentrasi 150 ppm laju korosi meningkat, kemudian

Laporan Tugas Akhir

Jurusan Teknik Material dan Metalurgi



menurun kembali pada konsentrasi 200 ppm. Hal ini diduga disebabkan telah tercapainya konsentrasi inhibitor pada *critical micelle concentration* (CMC). Sehingga, Adanya penambahan inhibitor sulfaktan ke dalam larutan diatas *critical micelle concentration* (CMC) akan membentuk micelles atau beberapa lapisan yang teradsorpsi pada permukaan logam. Akibatnya, tegangan permukaan dan densitas arus korosi tidak berubah secara signifikan diatas *critical micelle concentration* (CMC). (Malik, 2011).

Kemudian dari adanya penambahan pH dari hasil pengujian pada gambar 4.5 dan 4.6, laju korosi sampel menurun. Hal ini terjadi karena peningkatan pH lebih dari 4 akan menurunkan kelarutan FeCO_3 , sehingga menyebabkan terjadinya peningkatan laju pengendapan dari FeCO_3 . Sehingga, luas permukaan baja yang bersentuhan langsung dengan elektrolit akan berkurang. Hal ini menyebabkan menurunnya laju korosi. (Pandy, 2012).

Akan tetapi dari hasil pengujian pada gambar 4.1 dan 4.3, pengaruh kecepatan putar yang semakin besar menaikkan laju korosi baja. Semakin besar nilai *wall shear stress*, maka akan semakin besar pula gerusan pada lapisan produk korosi maupun lapisan tipis akibat penambahan inhibitor yang sudah terbentuk. Sehingga, akan meningkatkan laju korosi pada permukaan logam. (PINE Research Instrument, 2006).

Kemudian untuk mengetahui apakah inhibitor *imidazoline*, teradsorpsi pada permukaan logam, dilakukan pengujian FTIR. Dari hasil pengujian pada inhibitor *imidazoline* sebelum diberikan pada larutan uji, didapatkan gugus fungsi N-H, C-H, C=C, dan C-N. Sedangkan pada sampel uji, didapatkan gugus fungsi N-H dan C-H. Menurut (Zhang, Huan. 2015) pada hasil FTIR sampel inhibitor *imidazoline* terdapat beberapa gugus fungsi seperti N-H, C-H, C=N, C-N. Adanya gugus fungsi *amine* (N-H) yang ada pada bagian kepala dari struktur molekul *imidazoline*, menandakan adanya donor elektron yang diberikan oleh atom nitrogen pada bagian *pyrine* kepada Fe dari sampel uji.

Laporan Tugas Akhir

Jurusan Teknik Material dan Metalurgi



Sehingga, terbentuk reaksi yang kuat antara inhibitor *imidazoline* dan sampel uji dan terbentuk lapisan pasif yang melindungi logam dari korosi. (Bhargava, 2009). Adanya ikatan C-H sebagai rantai cabang menandakan adanya gugus hidrokarbon di permukaan logam. Dengan adanya gugus C-H ini, membuat senyawa *imidazoline* memiliki kemampuan hidrofobik atau menolak molekul air. (Hutasoit, 2013).

Dari pengujian polarisasi yang dilakukan pada empat sampel uji, didapatkan bahwa terdapat penurunan laju korosi dan peningkatan efisiensi inhibitor dengan meningkatnya pemberian konsentrasi inhibitor. Dari grafik kurva tafel, dengan adanya pemberian inhibitor menggeser kurva kebawah yang mengindikasikan adanya penurunan nilai I_{Corr} . Sehingga dapat diketahui bahwa inhibitor *imidazoline* bekerja untuk mengurangi laju korosi baja AISI 1045. Begesernya kurva tafel kearah kanan setelah diberikan inhibitor korosi menunjukkan reaksi elektrokimia yang terjadi antara larutan elektrolit dan sampel uji menjadi lebih anodik. Sehingga reaksi pada sampel uji lebih dominan bila dibandingkan dengan reaksi pada larutan

Dari hasil pengujian EIS pada tabel 4.6 didapatkan pada tabel 4.6 dan 4.7, bahwa dengan adanya penambahan inhibitor meningkatkan nilai tahanan polarisasi (R_p). Tahanan tersebut mewakili adanya perpindahan muatan pada antar muka antara logam dan larutan. Dengan peningkatan nilai tahanan, menunjukkan adanya lapisan pasif yang terbentuk di permukaan logam. Sehingga, pergerakan ion dari logam menuju elektrolit menjadi terhambat. Dari hasil nilai CPE menunjukkan adanya pengurangan nilai dengan adanya penambahan inhibitor korosi. Hal ini menunjukkan bahwa adanya lapisan pasif yang terbentuk pada permukaan logam dan memindahkan elektrolit yang menempel pada permukaan logam. (Feng, Lijuan. 2011).

Dari hasil pengujian XRD, terbentuk senyawa $Fe_{24}N_{10}$ yang bersesuaian dengan ICDD 01-073-2103. Hasil tersebut menunjukkan dengan adanya penambahan inhibitor korosi *imidazoline* sebesar 200 ppm terbentuk ikatan antara Fe dengan

Laporan Tugas Akhir

Jurusan Teknik Material dan Metalurgi



atom Nitrogen dari *pyridine* pada gambar 2.8. Donasi elektron dari atom nitrogen pada *pyridine*, bekerja secara berikatan antara atom nitrogen dan Fe secara *chemisorption*. Sedangkan pasangan elektron pada atom nitrogen *Pyrrole*, dibutuhkan untuk stabilisasi rantai aromatik pada bagian kepala (*head group*) dari struktur *imidazoline*. (Bhargava, 2009).

Dari hasil pengamatan visual yang dilakukan selama pengujian sampel baja AISI 1045, didapatkan hasil bahwa terdapat lapisan berwarna coklat kehitaman yang diduga adalah senyawa $\text{Fe}_{24}\text{N}_{10}$ yang terdapat pada permukaan sampel.

Pada perhitungan energi bebas adsorpsi ΔG_{ads} untuk mengetahui jenis adsorpsi yang terjadi antara permukaan logam dengan inhibitor korosi, didapatkan hasil bahwa semua hasil perhitungan pada tabel 4.7 menunjukkan bahwa jenis adsorpsi yang terjadi antara inhibitor korosi dan permukaan logam adalah *physical adsorption*. Dikarenakan nilai ΔG_{ads} yang didapatkan kurang dari -20 kJ/mol. Akan tetapi dari hasil pengujian FTIR, XRD dan studi literatur pada sub bab 2.10 menunjukkan bahwa mekanisme inhibisi inhibitor korosi *imidazoline* adalah secara *chemisorption*.

Dari seluruh pengujian yang dilakukan untuk mengetahui pengaruh pH, kecepatan putar dan konsentrasi *imidazoline* terhadap laju korosi pada baja AISI 1045 didapatkan hasil bahwa dengan adanya peningkatan konsentrasi inhibitor dan pH larutan menurunkan laju korosi baja AISI 1045. Akan tetapi, semakin meningkatnya kecepatan putar menyebabkan laju korosi meningkat kembali pada pH dan konsentrasi inhibitor yang sama.

Mekanisme kerja dari inhibitor korosi berbasis *imidazoline* adalah dari struktur molekul pada gambar 2.13 pada bagian kepala, memiliki 2 atom nitrogen. Atom nitrogen pada *pyridine* akan mendonorkan elektronnya ke Fe secara *chemisorption*. Sedangkan pasangan elektron pada atom nitrogen *Pyrrole*, dibutuhkan untuk stabilisasi rantai aromatik pada bagian kepala (*head group*) dari struktur *imidazoline*. (Bhargava, 2009).

Laporan Tugas Akhir

Jurusan Teknik Material dan Metalurgi



Kemudian Ekor hidrokarbon non polar dari molekul inhibitor ini berada secara vertikal terhadap permukaan logam seperti pada gambar 2.14. Rantai hidrokarbon molekul inhibitor ini saling menangkap membentuk lapisan seperti jaring tertutup yang akan menolak fasa cair yang disebabkan sifat dari karakter hidrofobik. (Lopez, 2004)



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Penambahan konsentrasi inhibitor korosi *imidazoline*, menurunkan laju korosi baja AISI 1045 pada pH 5. Pada pengujian pH 7, laju korosi menurun sampai dengan konsentrasi 100 ppm. Kemudian, terjadi sedikit peningkatan laju korosi pada konsentrasi 150 ppm dan menurun kembali pada 200 ppm. Meningkatnya kecepatan putar menaikkan laju korosi baja AISI 1045. Meningkatnya nilai pH menurunkan laju korosi baja AISI 1045
2. Mekanisme inhibisi dari inhibitor korosi *imidazoline* adalah *chemisorption* dengan adanya donor elektron atom nitrogen *pyridine* dengan Fe. Kemudian bagian rantai hidrokarbon menghindarkan permukaan logam untuk bersentuhan dengan elektrolit karena bersifat hidrofobik. Sehingga, terbentuk lapisan yang melindungi permukaan logam dari korosi.

5.2 Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan, didapatkan beberapa saran sebagai berikut :

1. Menambah variasi temperatur pada penelitian selanjutnya untuk melihat pengaruh inhibitor korosi *imidazoline* pada aplikasi yang sebenarnya.
2. Menambah variasi kecepatan putar untuk penelitian selanjutnya, sehingga dapat dilihat pengaruhnya pada efisiensi inhibitor korosi pada kondisi yang sebenarnya.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, Zaki. 2006. *Principles of Corrosion Engineering and Corrosion Control*. USA : Elsevier Ltd
- Amalia, Indah. *Pengaruh Variasi Konsentrasi Ekstrak Daun Jambu Biji (Psidium guajava) Dan Daun Cengkeh (Syzigium aromaticum) Sebagai Inhibitor Organik Pada Baja API 5L Grade B Di Lingkungan NaCl 3,5 % pH 4*. Surabaya. Teknik Material dan Metalurgi ITS.
- Bhargava, G. 2009. *Imidazole-Fe Interaction in an Aqueous Chloride Medium: Effect of Cathodic Reduction of the Native Oxide*. New Jersey : Langmuir
- Dewi, Sherryta Utari. 2014. *Studi Inhibitor Korosi Berbahan Dasar Imidazoline Dengan Menggunakan Metode EIS*. Depok : Teknik Metalurgi dan Material UI
- Feng, Lijuan. 2011. *Experimental and theoretical studies for corrosion inhibition of carbon steel by imidazoline derivative in 5% NaCl saturated Ca(OH)₂ solution*. Shenyang : Chinese Academy of Sciences
- Firmansyah, Dede. 2011. *Studi Inhibisi Korosi Baja Karbon Dalam Larutan Asam 1 M HCL Oleh Ekstrak Daun Sirsak (Annona Muricata)*. Depok : Teknik Metalurgi dan Material UI
- Fontana, Mars G. 1986. *Corrosion Engineering 3rd Edision*. New York : McGraw-Hill Book Company
- Hutasoit, Rodax Jimmy Wibawa. 2013. *Studi Inhibitor Korosi Berbahan Dasar Imidazoline Dengan Menggunakan Polarisisasi Tafel*. Depok : Teknik Metalurgi dan Material UI
- Jones, Denny A. 1992. *Principles and Prevention of Corrosion*. Singapura : Maxwell Macmillan
- Liu, F.G. 2009. *Electrochemical behavior of Q235 steel in saltwater saturated with carbon dioxide based on new imidazoline derivative inhibitor*. PR China : Ocean University of China

Laporan Tugas Akhir

Jurusan Teknik Material dan Metalurgi



- Lopez, D.A. 2005. *Inhibitors performance in CO₂ corrosion EIS studies on the interaction between their molecular structure and steel microstructure*. Argentina : Universidad Nacional de Mar del Plata
- Malik, Maqsood Ahmad. 2011. *Anti Corrosion Ability of Sulfactants*. Kuala Lumpur : King Abdul Aziz University
- Moiseeva, L.S. 2002. *Effect of pH Value on Corrosion Behavior of Steel in CO₂ Containing Aquoeus Media* : Scientific-Engineering Center, Lukoil Oil Company : Moscow
- Mustafa, A.H. 2011. *Inhibition of CO₂ Corrosion of X52 Steel by Imidazoline-Based Inhibitor in High Pressure CO₂-Water Environment* : ASM International
- Nesic. S.K & Lee L.J. 2003. *A Mechanistic Model for Carbon Dioxide Corrosion of Mild Steel in The Persence of Protective Iron Carbonate – Part 3 Film Growth Model*. Columbus : NACE International
- Octoviawan, Nur Aziz. 2012. *Studi Pengaruh Laju Alir Fluida Terhadap Laju Korosi Baja API 5L X-52 Menggunakan Metode Polarisasi Pada Lingkungan NaCl 3,5 % Yang Mengandung Gas CO₂*. Depok : Teknik Metalurgi dan Material UI
- Pandyo, Nitiyoga Adhika. 2012. *Studi Pengaruh pH Lingkungan 4 Terhadap Laju Korosi Baja API 5L X-52 Sebagai Pipa Penyalur Proses Produksi Gas Alam Yang Mengandung Gas CO₂ Pada Larutan NaCl 3,5 % Dengan Variasi Laju Aliran*. Depok : Teknik Metalurgi dan Material UI
- Peabody, AW. 2001. *Peabody's Control of Pipeline Corrosion*. USA : NACE International
- Paksi, Dekanita Estrie. 2015. *Pengaruh Penambahan Suplemen Vitamin C pada Inhibitor Ekstrak Kulit Kacang Tanah Terhadap Performa Proteksi Korosi Baja API 5L Grade B di Lingkungan Asam dan Netral*. Surabaya. Teknik Material dan Metalurgi ITS

Laporan Tugas Akhir

Jurusan Teknik Material dan Metalurgi



- PINE Research Instrument. 2006. *Study of Mass Transport Limited Corrosion Using Pine Rotating Cylinder Electrode*
- Rahman, Mohammad Fajar. 2015. *Pengaruh pH, dan Kecepatan Putar Terhadap Karakteristik Korosi Baja Karbon Rendah Pada Larutan Asam Sulfat (H_2SO_4) Menggunakan Rotating Cylinder Electrode (RCE)*. Surabaya. Teknik Material dan Metalurgi ITS.
- Roberge, Pierre R. 1999. *Handbook of Corrosion Engineering*. New York : McGraw-Hill Book Company
- Sujianto. 2008. *Pengaruh Konsentrasi Bikarbonat Dan Inhibitor Imidazoline Terhadap Korosi CO_2 Pada Mild Steel (AISI 1018)*. Depok : Teknik Metalurgi dan Material UI
- Toledo, Ortega D.M. 2011. *CO_2 corrosion inhibition of X-120 pipeline steel by a modified imidazoline under flow conditions*. Mexico : Elsevier Ltd
- Uhlig. 2008. *Corrosion and Corrosion Control. An introduction to corrosion science and engineering, 4th edition* : John Wiley and Sons
- Woie, Kathrine. 2011. *A study of the interaction between a kinetic hydrate inhibitor and selected corrosion inhibitors*: University of Stavanger
- Zhang, Huan Huan. 2015. *The behavior of pre-corrosion effect on the performance of imidazoline-based inhibitor in 3 wt.% NaCl solution saturated with CO_2* . Beijing : University of Science and Technology Beijing
- Zhang, Guoan. 2007. *Evaluation of inhibition efficiency of an imidazoline derivative in CO_2 -containing aqueous solution*. Beijing : China University of Petroleum
- Zhang, Xueyuan. 2000. *Study of The Inhibitor Mechanism of Imidazoline Amide on CO_2 Corrosion of Armco Iron*. China : The Chinese Academy of Sciences



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

1. Pembuatan Elektroda Kerja

Baja AISI
1045

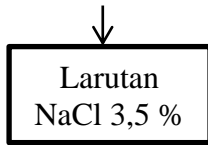
- Memotong spesimen dengan panjang 1 cm
- Membubut spesimen untuk mendapatkan diameter 1 cm
- Melubangi spesimen dengan diameter lubang 3 mm
- Melakukan pengamplasan spesimen agar rata dan bersih dari korosi
- Menimbang berat awal spesimen dan mengukur dimensi dengan menggunakan jangka sorong
- Memasang spesimen pada poros RCE sebanyak 3 spesimen dan dibatasi dengan teflon

Elektroda
Kerja

2. Pembuatan Larutan NaCl 3,5 %

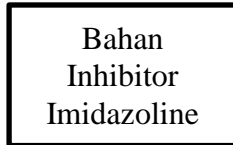
Garam NaCl
dan Aquades

- Timbang garam NaCl sebanyak 17,5 gram dengan menggunakan timbangan digital
- Menuangkan garam NaCl ke gelas beaker
- Menungkan aquades ke dalam gelas beaker sampai volume larutan 500 ml dan diaduk agar larut dengan sempurna

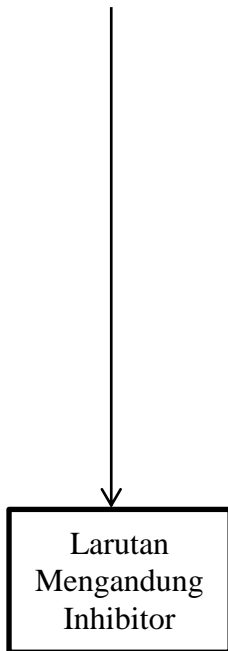


- Larutan siap untuk digunakan

3. Preparasi Inhibitor *Imidazoline*



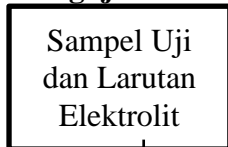
- Menyiapkan Mikropipet 100 μ l – 1000 μ l
- Untuk konsentrasi inhibitor 50 ppm, pipet inhibitor sebanyak 100 μ l. Kemudian teteskan pada aquades 2 liter. Lalu dilakukan pembagian sebanyak 4 larutan yang masing-masing sebesar 500 ml dari 2 liter aquades tersebut. Sehingga, didapatkan konsentrasi 50 ppm atau 0,025 ml.
- Untuk konsentrasi inhibitor 100 ppm, pipet inhibitor sebanyak 100 μ l. Kemudian teteskan pada aquades 1 liter. Lalu dilakukan pembagian sebanyak 2 larutan yang masing-masing sebesar 500 ml dari 1 liter aquades tersebut. Sehingga, didapatkan konsentrasi 50 ppm atau 0,05 ml.
- Untuk konsentrasi inhibitor 150 ppm, pipet inhibitor sebanyak



150 μ l. Kemudian teteskan pada aquades 1 liter. Lalu dilakukan pembagian sebanyak 2 larutan yang masing-masing sebesar 500 ml dari 1 liter aquades tersebut. Sehingga, didapatkan konsentrasi 150 ppm atau 0,075 ml.

- Untuk konsentrasi inhibitor 200 ppm, pipet inhibitor sebanyak 100 μ l. Kemudian teteskan pada aquades 500 ml. Sehingga, didapatkan konsentrasi 200 ppm atau 0,1 ml.

4. Pengujian Polarisasi (Tafel)



- Menyambungkan, kabel monitor, CPU, dan autolab pada arus listrik
- Menyalakan CPU, monitor, autolab
- Memasang elektroda (elektrode kerja, elektrode bantu (elektrode acuan) padarangkaian potensiostat yang dicelupkan ke dalam larutan elektrolit
- Memasang kabel pada tiap elektrode

Menjalankan Program Nova

- Menyalakan program Nova
- Memilih program Tafel sebagai program yang diinginkan
- Mengisi parameter pada kolom "***Properties for Tafel***" dan "***Properties for Common***"
- Memulai program Nova dengan mengklik tombol ***start***
- Setelah selesai menjalankan program Nova yang ditandai dengan tulisan "CELL OFF" pada kiri bawah, maka akan muncul grafik tafel
- Kemudian mengklik nilai ujung kiri pada grafik tafel yang dihasilkan.
- Melakukan metode ekstrapolasi tafel untuk mendapatkan nilai.

Mengetahui
Nilai E_{corr} , I_{corr} , dan CR

5. Sampel Uji dan Larutan Elektrolit

- Menyambungkan, kabel monitor, CPU, dan autolab pada arus listrik
- Menyalakan CPU, monitor, autolab

- Memasang elektroda (elektrode kerja, elektrode bantu, elektrode acuan) pada rangkaian potensiostat yang dicelupkan ke dalam larutan elektrolit
- Memasang kabel pada tiap elektrode

Menjalankan Program
Nova

- Menyalakan program Nova
- Memilih program Potensiostatic EIS sebagai program yang diinginkan
- Mengisi parameter pada kolom ***“Properties for Potensiostatic EIS”*** dan ***“Properties for Common”***
- Memulai program Nova dengan mengklik tombol ***start***
- Setelah selesai menjalankan program Nova yang ditandai dengan tulisan “CELL OFF” pada kiri bawah, maka akan muncul grafik Nyquist
- Menyusun equivalent circuit yang tepat

- Menjalankan program dengan mengklik Run Fitting/ Freq. Range

Tahanan larutan dan kapasitansi

6. Perhitungan ppm Inhibitor *Imidazoline* Dalam 500 ml Aquades

- Konsentrasi 50 ppm = $\frac{50 \times 500 \text{ ml}}{1000000}$
= 0,025 ml
- Konsentrasi 100 ppm = $\frac{100 \times 500 \text{ ml}}{1000000}$
= 0,05 ml
- Konsentrasi 150 ppm = $\frac{150 \times 500 \text{ ml}}{1000000}$
= 0,075 ml
- Konsentrasi 200 ppm = $\frac{200 \times 500 \text{ ml}}{1000000}$
= 0,1 ml

7. Pengujian Weight Loss

$$\text{Laju Korosi (mm/year)} = \frac{87600 \times W}{D \times A \times T}$$

W= Berat yang Hilang (gram)

D= Berat Jenis Logam (gram/cm³)

A= Luas Permukaan Kontak (cm²)

T= Waktu (Jam)

Perhitungan laju korosi sampel pada pH 5, 250 RPM dan konsentrasi inhibitor 200 ppm

$$\begin{aligned} \text{Laju Korosi (mm/year)} &= \frac{87600 \times W}{D \times A \times T} \\ &= \frac{87600 \times 0,008}{7,87 \times 3,14 \times 240} \\ &= 0,120 \text{ mm/year} \end{aligned}$$

8. Perhitungan Efisiensi Inhibitor

$$IE = \frac{CR_0 - CR_1}{CR_0} \times 100$$

Perhitungan efisiensi inhibitor sampel pada pH 5, 250 RPM dan konsentrasi inhibitor 200 ppm

$$\begin{aligned} IE &= \frac{0,676 - 0,118}{0,676} \times 100 \\ &= 82,59 \% \end{aligned}$$

9. Perhitungan Kecepatan Putar

Untuk mendapatkan nilai *Reynold Number* harus mengkonversi kecepatan putar menjadi kecepatan linear, kemudian bisa dihitung Re :

$$U_{cyl} = \omega r_{cyl} = \pi d_{cyl} F / 60.$$

ω	= Kecepatan Putar (rad/s)
r_{cyl}	= Jari-jari sampel (cm)
F	= Kecepatan Putar (RPM)

$$RE = U_{cyl} d_{cyl} \rho / \mu.$$

RE = Bilangan Reynold

ρ = Berat Jenis Larutan (gr/cm³)

μ = Viskositas Larutan (gr/cm s)

d_{cyl} = Diameter Luar Sampel (cm)

U_{cyl} = Kecepatan Linear dari Permukaan Luar (cm/s)

$$\tau_{cyl} = 0,0791 \rho Re^{-0,3} U_{cyl}^2$$

τ_{cyl} = Wall Shear Stress

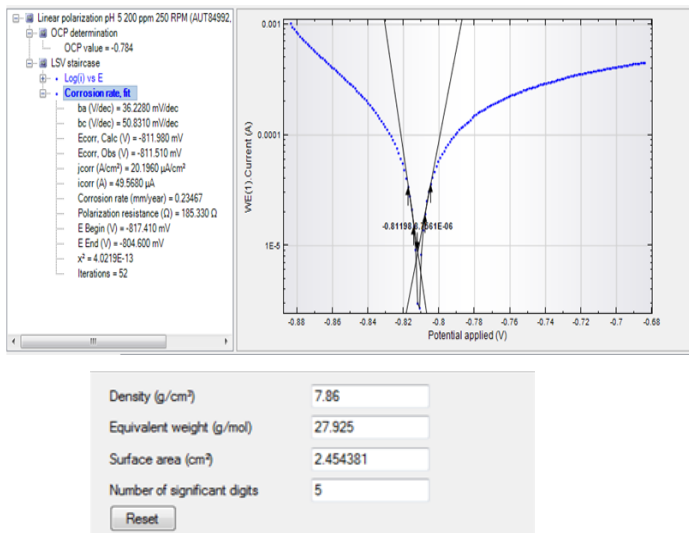
1. Perhitungan untuk kecepatan putar 150 RPM

$$\begin{aligned} U_{cyl} &= \pi d_{cyl} F / (60) \\ &= (3,14 \times 1 \times 150) / (60) \\ &= 7,85 \text{ cm/s} \end{aligned}$$

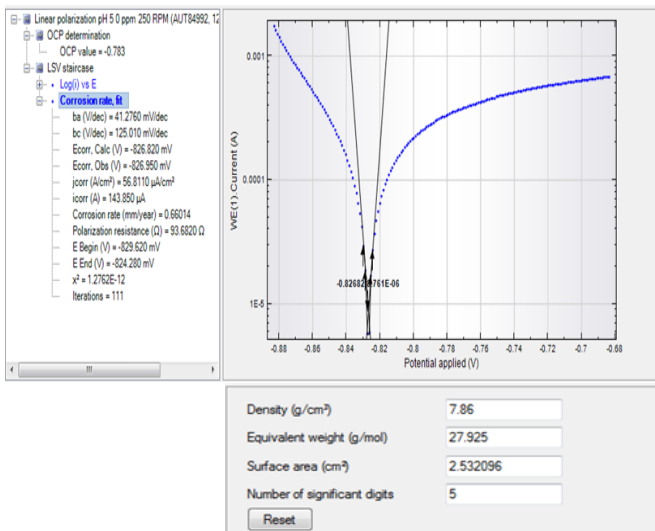
$$\begin{aligned} RE &= U_{cyl} d_{cyl} \rho / \mu \\ &= (3,14 \times 1 \times 1,0196) / (0,0152) \\ &= 760,82 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tau_{cyl} &= 0,0791 \rho Re^{-0,3} U_{cyl}^2 \\ &= 0,0791 \times 1,0196 \times (760,82)^{-0,3} \times (7,85)^2 \\ &= 0,6791 \end{aligned}$$

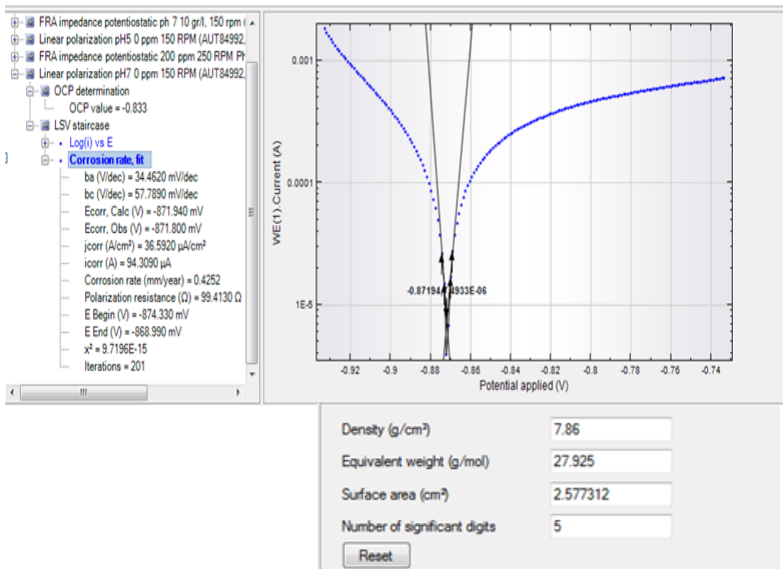
10. Hasil Analisa Ekstrapolasi Tafel (Potensiostat Autolab PGSTAT302N)



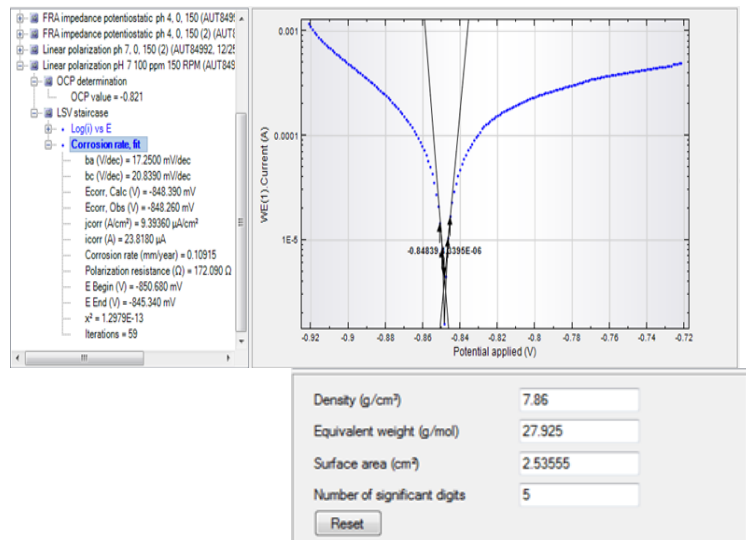
Gambar 1 Hasil Pengujian Polarisasi Pada Sampel pH 5 200 ppm dan 250 RPM



Gambar 2 Hasil Pengujian Polarisasi Pada Sampel pH 5 0 ppm dan 250 RPM

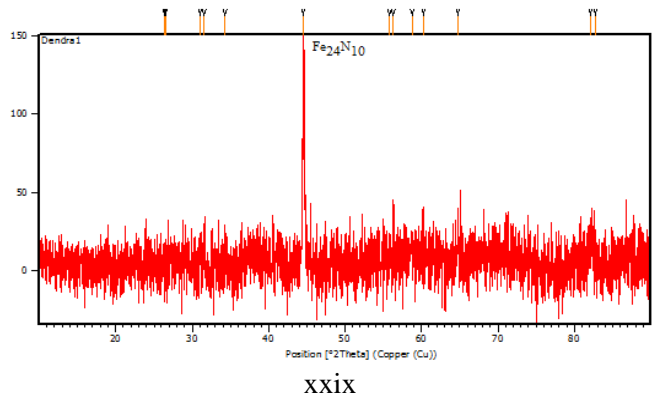


Gambar 3 Hasil Pengujian Polarisasi Pada Sampel pH 7 0 ppm dan 150 RPM



Gambar 4 Hasil Pengujian Polarisasi Pada Sampel pH 7 100 ppm dan 150 RPM

11. Hasil Analisa XRD



Name and formula

Reference code:	01-073-2103
Mineral name:	Siderazot, syn
Compound name:	Iron Nitride
Common name:	ϵ -Fe ₂₄ N ₁₀
Empirical formula:	Fe ₂₄ N ₁₀
Chemical formula:	Fe ₂₄ N ₁₀

Crystallographic parameters

Crystal system:	Hexagonal
Space group:	P312
Space group number:	149
a (Å):	9.2150
b (Å):	9.2150
c (Å):	4.3440
Alpha (°):	90.0000
Beta (°):	90.0000
Gamma (°):	120.0000
Volume of cell (10 ⁶ pm ³):	319.46
Z:	1.00
RIR:	3.42

Subfiles and quality

Subfiles:	Alloy, metal or intermetallic ICSD Pattern Inorganic Mineral
-----------	---

Quality:

Indexed (I)

Comments

ANX: N5O12
Creation Date: 11/20/2008
Modification Date: 1/19/2011
ANX: N5O12
Analysis: Fe24 N10
Formula from original source: Fe24 N10
ICSD Collection Code: 24652
Calculated Pattern Original Remarks: 24.1N/100Fe, lowest N-
contents of this phase
Minor Warning: No e.s.d reported/abstracted on the
cell dimension. No R factors
reported/abstracted
Wyckoff Sequence: 14 k j2 d(P312)
Unit Cell Data Source: Single Crystal.

References

Primary reference: *Calculated from ICSD using
POWD-12++*, (2004)
Structure: Jack, K.H., *Acta Crystallogr.*, **5**,
404, (1952)

Peak list

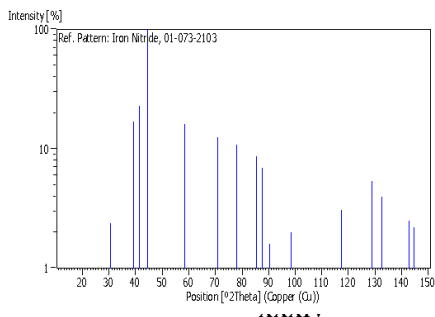
No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	0	0	7.98040	11.078	0.4
2	1	1	0	4.60750	19.248	0.4
3	0	0	1	4.34400	20.428	0.1
4	2	0	0	3.99020	22.261	0.1
5	1	0	1	3.81540	23.295	0.1
6	-1	-1	1	3.16070	28.211	0.3
7	2	1	0	3.01630	29.592	0.1
8	2	0	1	2.93860	30.393	2.4
9	3	0	0	2.66010	33.665	0.1
10	-2	-1	1	2.47760	36.228	0.1

11	2	2	0	2.30380	39.067	16.9
12	3	0	1	2.26860	39.699	0.1
13	3	1	0	2.21340	40.732	0.1
14	0	0	2	2.17200	41.544	22.9
15	1	0	2	2.09580	43.129	0.1
16	-2	-2	1	2.03520	44.480	100.0
17	-3	-1	1	1.97210	45.984	0.1
18	-1	-1	2	1.96460	46.169	0.1
19	2	0	2	1.90770	47.630	0.1
20	3	2	0	1.83080	49.763	0.1
21	4	0	1	1.81300	50.286	0.3
22	-2	-1	2	1.76260	51.828	0.1
23	4	1	0	1.74150	52.504	0.1
24	-3	-2	1	1.68710	54.334	0.1
25	3	0	2	1.68240	54.498	0.1
26	-4	-1	1	1.61640	56.921	0.1
27	-2	-2	2	1.58040	58.341	16.2
28	-3	-1	2	1.55030	59.586	0.1
29	3	3	0	1.53580	60.207	0.1
30	4	2	0	1.50820	61.426	0.1
31	5	0	1	1.49820	61.881	0.1
32	4	0	2	1.46930	63.237	0.1
33	-3	-3	1	1.44800	64.278	0.1
34	5	1	0	1.43330	65.018	0.1
35	-4	-2	1	1.42470	65.459	0.2
36	-3	-2	2	1.39990	66.769	0.1
37	-1	-1	3	1.38140	67.783	0.1
38	-5	-1	1	1.36120	68.929	0.1
39	2	0	3	1.36120	68.929	0.1
40	-4	-1	2	1.35870	69.074	0.1
41	6	0	0	1.33010	70.779	12.4
42	-2	-1	3	1.30540	72.326	0.1
43	5	0	2	1.28620	73.582	0.1
44	5	2	0	1.27790	74.139	0.1
45	3	0	3	1.27180	74.555	0.1
46	6	0	1	1.27180	74.555	0.1
47	-4	-3	1	1.25590	75.664	0.1
48	-3	-3	2	1.25400	75.798	0.1
49	-5	-2	1	1.22600	77.850	10.9

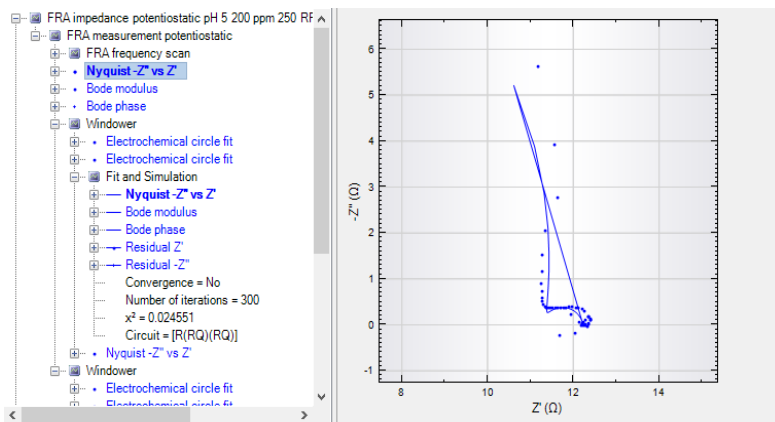
50	-2	-2	3	1.22600	77.850	10.9
51	-5	-1	2	1.19630	80.167	0.1
52	4	0	3	1.17190	82.190	0.1
53	-6	-1	1	1.17190	82.190	0.1
54	4	4	0	1.15190	83.937	1.0
55	6	0	2	1.13430	85.546	8.6
56	-4	-3	2	1.12300	86.618	0.1
57	-4	-4	1	1.11340	87.553	6.9
58	-5	-3	1	1.10270	88.623	0.1
59	-5	-2	2	1.10140	88.755	0.1
60	0	0	4	1.08600	90.356	1.6
61	1	0	4	1.07610	91.422	0.1
62	-6	-2	1	1.07240	91.828	0.1
63	-6	-1	2	1.06170	93.027	0.1
64	-1	-1	4	1.05700	93.565	0.1
65	7	1	0	1.05700	93.565	0.1
66	-3	-3	3	1.05360	93.959	0.1
67	2	0	4	1.04790	94.630	0.1
68	-4	-2	3	1.04450	95.035	0.1
69	-7	-1	1	1.02710	97.177	0.1
70	-4	-4	2	1.01760	98.397	2.0
71	-5	-3	2	1.00940	99.481	0.1
72	6	3	0	1.00540	100.021	0.1
73	3	0	4	1.00540	100.021	0.1
74	8	0	0	0.99760	101.095	0.1
75	-5	-4	1	0.99460	101.516	0.1
76	-2	-2	4	0.98230	103.290	1.0
77	-3	-1	4	0.97500	104.381	0.1
78	7	2	0	0.97500	104.381	0.1
79	-4	-3	3	0.97220	104.807	0.1
80	8	0	1	0.97220	104.807	0.1
81	-5	-2	3	0.95810	107.025	0.1
82	4	0	4	0.95380	107.726	0.1
83	-7	-1	2	0.95050	108.273	0.1
84	3	2	4	0.93400	111.123	0.1
85	8	1	0	0.93400	111.123	0.1
86	-6	-1	3	0.93160	111.554	0.1
87	-5	-4	2	0.92460	112.841	0.1
88	-4	-1	4	0.92150	113.423	0.1

89	5	5	0	0.92150	113.423	0.1
90	6	4	0	0.91540	114.596	0.1
91	-6	-3	2	0.91240	115.185	0.1
92	-4	-4	3	0.90140	117.422	3.1
93	-6	-4	1	0.89570	118.633	0.1
94	-7	-2	2	0.88950	119.992	0.1
95	9	0	0	0.88670	120.622	0.1
96	-3	-3	4	0.88670	120.622	0.1
97	-4	-2	4	0.88130	121.865	0.1
98	-7	-3	1	0.87930	122.336	0.1
99	-6	-2	3	0.87930	122.336	0.1
100	8	2	0	0.87070	124.427	0.7
101	0	0	5	0.86880	124.904	0.1
102	9	0	1	0.86880	124.904	0.1
103	-5	-1	4	0.86560	125.722	0.1
104	8	2	1	0.85380	128.898	5.4
105	2	0	5	0.84890	130.300	0.1
106	6	0	4	0.84120	132.615	4.0
107	-5	-4	3	0.83490	134.626	0.1
108	-7	-3	2	0.82980	136.341	0.1
109	5	2	4	0.82750	137.144	0.1
110	7	4	0	0.82750	137.144	0.1
111	-6	-3	3	0.82590	137.713	0.1
112	8	0	3	0.82150	139.329	0.1
113	9	0	2	0.82150	139.329	0.1
114	-2	-2	5	0.81290	142.738	2.5
115	-8	-2	2	0.80820	144.768	2.2
116	10	0	0	0.79800	149.719	0.1

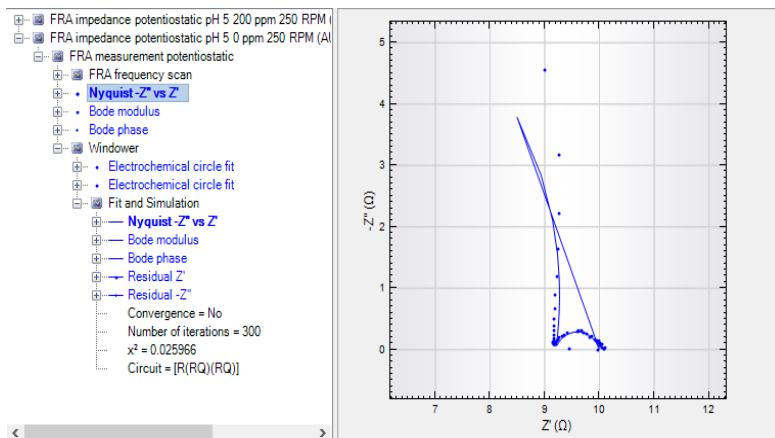
Stick Pattern



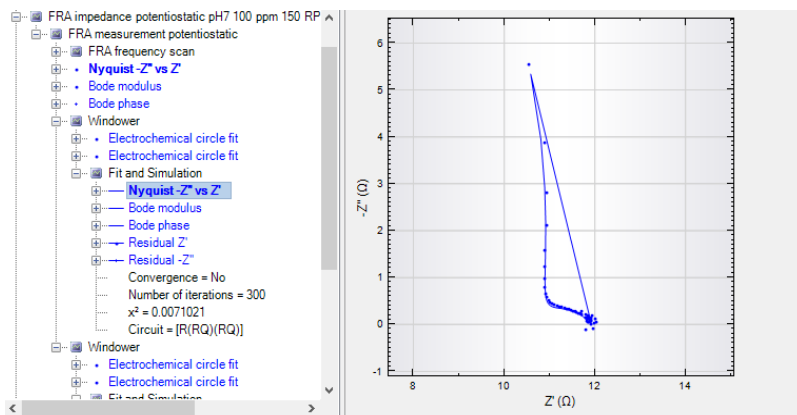
12. Hasil Analisa EIS



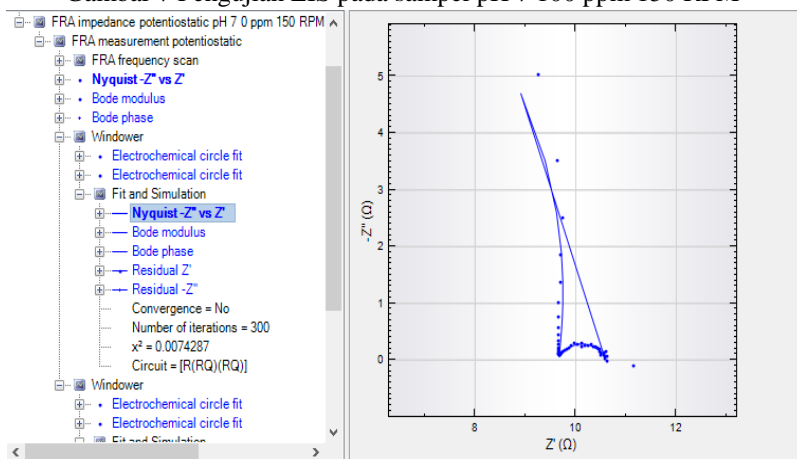
Gambar 5 Pengujian EIS pada sampel pH 5 200 ppm 250 RPM



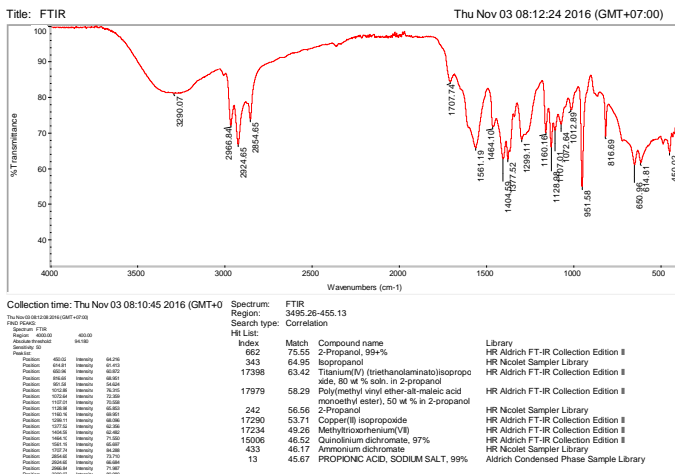
Gambar 6 Pengujian EIS pada sampel pH 5 0 ppm 250 RPM



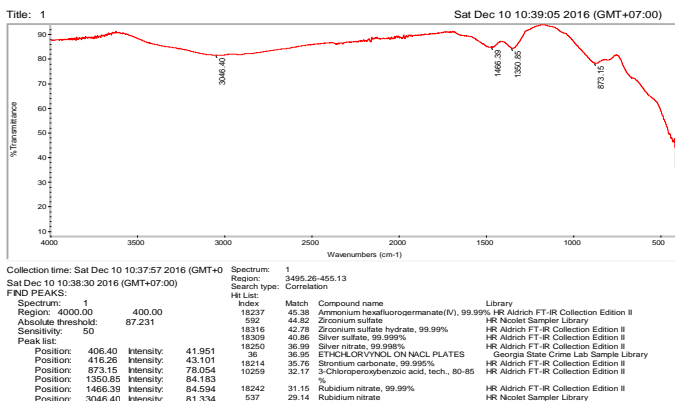
Gambar 7 Pengujian EIS pada sampel pH 7 100 ppm 150 RPM



Gambar 8 Pengujian EIS pada sampel pH 7 0 ppm 150 RPM



Gambar 9 Hasil FTIR Pada Bahan Inhibitor



Gambar 10 Hasil FTIR Pada Sampel Baja

BIOGRAFI PENULIS



Penulis bernama lengkap Dendra Ravelia yang merupakan anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Trinanto AM dan Ibu Rini Damayanti. Penulis menyelesaikan studi formalnya di SD Muhammadiyah 2 Bendan selama 6 tahun, kemudian melanjutkan ke SMP Negeri 2 Kota pekalongan selama 3 tahun, kemudian melanjutkan ke SMAN 1 Kota Pekalongan selama 3 tahun, Kemudian penulis melanjutkan ke Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS pada tahun 2013.

Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah menjadi asisten laboratorium kimia analitik. Selain itu, penulis juga melaksanakan kerja praktek di Kangean Energy Indonesia Ltd di pulau Pagerungan Besar dan di PT. Pertamina EP Cepu. Di jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS, penulis mengambil Tugas Akhir dalam Bidang Studi Korosi dan Analisa Kegagalan.

Nomor telepon yang dapat dihubungi adalah 085742963643 dan email yang dapat dihubungi adalah *Dendrateams05@gmail.com*